

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences applique

Département d'hydraulique et gène civil



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences applique

Filière : hydraulique et gène civil

Spécialité : Forage d'eau

Thème

***ETUDE DE RÉALISATION D'UN FORAGE
HYDRAULIQUE A USAGE AGRICOLE
DANS LA REGION DE TOUGGOURT***

Présenté par : BETTAHAR Mohammed Ali

LAKHCHAKHECHE Abbas

Soutenu publiquement

le :29/05/2017

Devant le jury :

Mme	MASOURI Zina	Président	UKM Ouargla
Mr.	BEN HAMIDA Slimane	Encadreur	ANRH
Mr.	BOUAMRANE Ali	Examineur	UKM Ouargla

Année 2016/2017

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie, en premier lieu **ALLAH** qui m'a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de mes études.

Je tiens à remercier avec gratitude mon encadreur **BENHAMIDA Slimane**, de m'avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de m'avoir conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils. Ses critiques fructueuses ont été, pour moi, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité m'ont permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.

Nous adressons nos remerciements à nos enseignants de département de l'hydraulique pour leurs aides et orientations durant notre cursus universitaire.

Ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à :

Ma chère mère qui m'a protégé pendant toute ma vie, et qui a fait

Tout pour que je devienne ce que je suis.

Mon père qui m'a tant aidé et encourager.

Tous mes frères et sœurs.

Toute ma famille.

Mr Djebari Hacene.

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ma formation.

Tous mes amis de Traitement des eaux.

Tous les amis sans exception.

BETTAHER Med Ali

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère et Mon père

Mes frères et ma sœur

A tout Toute ma famille

Mes tantes et oncles ainsi que mes cousins et cousines

Toutes mes amies.

Lakhchakheche Abbas

Abstract

In order to follow closely the steps to be taken in order to carry out a drilling for agricultural use in the Touggourt region, it has been considered useful to assist from the installation of the site through the perforation phases, To the start-up of the water well, to all the stages of realization of the drilling in question.

This work allowed us to design well the whole stages of realization of a hydraulic drilling for agricultural use in an arid zone such as the area of Touggourt (zone a vacation agricultural).

Key words: Touggourt, agricultural,drilling.

Résumé

Dans le but de suivre de près les démarches à suivre en vue de réaliser un forage à usage agricole dans la région de Touggourt, il à été juge utile d'assister depuis l'installation du chantier en passant par les phases de perforations et jusqu'à le mise en marche du puits d'eau, à tout les étapes de réalisation du forage eu question.

Le présent travail nous a permit de bien concevoir l'ensemble des étapes de réalisation d'un forage hydraulique à usage agricole dans une zone aride telle que la zone de Touggourt (zone a vacation agricole).

Mots clés : Touggourt. Agricole,forage

ملخص

من أجل المتابعة الدقيقة للخطوات التي يتعين اتخاذها من أجل القيام بالحفر للاستخدام الزراعي في منطقة تقرت، فانه كان علينا المتابعة و الحضور منذ تنصيب الموقع،ومن خلال مراحل الحفر حتى بداية ضخ الماء و التحقيق في جميع المراحل لمسالة الحفر.

وقد سمح لنا هذا العمل بتصميم مراحل كاملة من عملية الحفر الهيدروليكي للاستخدام الزراعي في منطقة قاحلة مثل منطقة تقرت (منطقة إجازة زراعية).

الكلمات المفتاحية : تقرت، زراعية,حفر.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère et Mon père

Mes frères et ma sœur

A tout Toute ma famille

Mes tantes et oncles ainsi que mes cousins et cousines

Toutes mes amies.

Lakhchakheche Abbas

Liste des tableaux et figures

Liste des tableaux

Données Générales

Tab 01 : Population et surface de chaque commune de la région de Touggourt.....	2
Tab. 02 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (2004-2013)	3
Tab 03: La température moyenne mensuelle.....	4
Tab04: Humidité moyenne mensuelle.....	4
Tab 05: Vitesse des vents moyenne mensuelle	5
Tab 06 : Besoins et ressources de la région de Touggourt	7

Partie Théorique

CHAPITRE I. *Hydrogéologie*

Tab. 07: Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)	14
--	----

CHAPITRE II. *Exploration et reconnaissance*

Tab 08 : Résistivité de sol et sol saturé	22
---	----

CHAPITRE III. *Les techniques de forage*

Tab.09 : les diamètres du tubage on fonction de débit	29
---	----

Tab.10 : diamètre de la avant puits et tube guide	30
---	----

CHAPITRE IV. *Fluides de forage (boue de forage)*

Tab. 11 : Caractéristique de boue	37
---	----

CHAPITRE V. *Essai de nappe et pompage*

Tab.12 : type d'essai et paramètre d'essai pompage	49
--	----

CHAPITRE VI. *Hydrochimie*

Tab.13 : conductivité et les caractéristiques de l'eau	54
--	----

Tab.14 : les normes de potentiel Hydrogène dans l'eau.....	55
--	----

Partie Pratique

CHAPITRE I. Réalisation de forage

Tab.15 : Résultat de sol de la première étape	63
Tab. 16 : Résultat de deuxième étape	66
Tab. 17 : échantillon de formation géologie de terrain.....	70

CHAPITRE II. Qualité l'eau

Tab. 18 : caractéristique physique de l'eau	75
Tab. 19 : caractéristique chimique de l'eau	75
Tab. 20: unité de l'élément majeur en (meq/l)	77

Liste des figures

Données Générales

Fig.01 : Situation géographique de la région Touggourt, d'après Larousse (2004).....	01
Fig.02 : Carte de situation géographique de Touggourt, d'après Larousse2004.....	01
Fig.03 : Carte de découpage administratif de la région de Touggourt.	02
Fig.04:Histogramme de variation des précipitations moyennes.....	03
Fig.05:Histogramme des températures moyennes mensuelles	04
Fig.06:courbe de variation d'humidité moyenne.....	05
Fig.07: courbe de la Vitesse des vents moyenne mensuelle.....	05
Fig.8 : Photo du lac de Témacine.	07

Partie Théorique

CHAPITRE I. Hydrogéologie

Fig.09 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications1, 2002.....	09
Fig.10 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.	10

Fig.11: Carte hydrogéologique du système aquifère	10
Fig.12: Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt	13
Fig.13: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale.....	14
Fig. 14 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ	16
CHAPITRE II. <i>Exploration et reconnaissance</i>	
Fig.15 : Schéma prospection par sismique de réfraction.....	21
Fig.16 : Schéma de la prospection électrique	22
CHAPITRE III. <i>Les techniques de forage</i>	
Fig.17: Schéma simplifié d'une installation de forage rotary	25
Fig.18 : les outils à lames	32
Fig.19 : les outils à molettes	33
CHAPITRE IV. <i>Fluides de forage (boue de forage)</i>	
Fig.20: Circuit de la boue dans le forage.....	39
CHAPITRE V. <i>Essai de nappe et pompage</i>	
Fig.21 : Essai pompage par palier	48
Fig.22 : sonde piézométrique.....	50
Fig.23 : seau et chronomètre pour mesure le débit.....	51
Fig.24 : Compteurs d'eau	51
CHAPITRE VI. <i>Hydrochimie</i>	
Fig.25 : appareil de conductivitémètre	54
Fig.26 : appareil WTW 720 de pH température	55
Fig.57 : appareil de flame photomètre 410 pour mesure les cations	56
Fig.28 : appareil DR 2000 pour mesure les anions.....	57
Fig.29 : diagramme de piper.....	60

Partie Pratique

CHAPITRE I.	Réalisation de forage
Fig.30 : La zone de forage	62
Fig.31 : installation de chantier de forage	62
Fig.32 : les bassins de décantation à boue	62
Fig.33 : l'outil de forage 12'' ¼ et 24''	63
Fig.34 : tube guide 20''	64
Fig.35 : La cimentation de la première partie.....	64
Fig.36: Préparation le lait de ciment.....	65
Fig.37:Outil de 19''	66
Fig.38 : Cimentation deuxième parti	67
Fig.39 : Cimentation le deuxième parti	68
Fig.40: la crépine Johnson	69
Fig.41 : La pose de crépine.....	69
Fig.42 : centreur de crépine	70
Fig.43 : échantillon de forage	70
Fig.44 : lavage de puits ajouté a l'eau claire	71
Fig.45 : Massif filtrant (gravier additionnel)	71
Fig.46 : développement air lite	72
CHAPITRE II.	Qualité l'eau
Fig.47 : l'analyse laboratoire chimie d'échantillon d'eau du forage.....	76
Fig.48 : le programme de diagramme.....	77
Fig.49 : diagramme de piper.....	78

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

CE: Conductivité électrique.

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

ONM : Office National de la Météorologie.

DTP : transformation de plastique.

Remerciements.....	I
Dédicace (Bettaher Med Ali)	II
Dédicace (Lakchakheche Abbas).....	III
Résumé.....	IV
Liste des tableaux et figuiers.....	V
Liste des abréviations.....	VIII
Introduction générale	IX

Donnes générale

1.Situation géographique et administrative de la région de Touggourt	01
2.Représentation de la station utilisée	03
3 Analyse des paramètres climatiques	03
3.1. Précipitations.....	03
3.2 La température	03
4.facture climatiques	04
4.1. L'humidité.....	04
4.2. Vitesse des vents	04
5.Activité économique	06
4.Géomorphologie	07
5.Besoins et ressources en eau	07
6.Conclusion	08

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I.

HYDROGEOLOGIE

I.1.Introduction	09
I.2.Hydrogéologie régionale	09
I.3. Continentale Intercalaire.....	10
I.3.1. Limites et morphologie du continental intercalaire	10
I.3.2. Toit du réservoir	11
I.3.3.Alimentation	11

I3.3.4.Épaisseur du réservoir	12
I.4.Le Complexe Terminal.....	12
I.5.La nappe phréatique.....	13
I.6.Les nappes du complexe terminal	15
I.6.1. La première nappe des sables CT1	15
I.6.2. La deuxième nappe CT2.....	15
I.6.3. La nappe du calcaire du Sénonien- Eocène CT3	16
I.7.Nappe du Continental Intercalaire dans le secteur de la région Touggourt.....	16
I.8.Conclusion	17

CHAPITRE II. EXPLORATION ET RECONNAISSANCE

II.1.Introduction	18
II.2. Cartographie	18
II .2.1. Cartes hydrogéologiques	19
II .2.2. Cartes structurales	19
II .2.3. Cartes piézométriques	19
II .2.4. Photos aériennes	20
II .2.5. Télédétection	20
II .3. Méthodes géophysiques	20
II .3.1. Prospection par sismique de réfraction	20
II .3.2. Prospection électrique	21
II .3.2. A. profil de résistivité.....	22
II .3.2. B. sondage électrique	23
II .3.3. La Diagraphie	23
II .4. Sondages (forages) de reconnaissance	23
II.3.Conclusion.....	23

CHAPITRE III . LES TECHNIQUES DE FORAGE

III.1.Introduction.....	24
III .2. La technique Rotary	24

III .2.1. Paramètres de forage.....	25
III .2.2. Avantages.....	26
III .2.3. Inconvénients	26
III.3.Les étapes suivies pour la réalisation d'un forage	26
III.4.Construction de bassin et de la plate forme	26
III.5.Installation de la machine	26
III.6.L'appareil du forage et ces différents organes.....	27
III.6.1.Le mat	27
III.6.2Treuil.....	27
III.6.3.Table de rotation	27
III.6.4.Pompe à boue.....	27
III.6.5.Kelly.....	27
III.6.6.Kelly bushing	28
III.6.7.Tête d'injection	28
III.6.8.Moufle mobile.....	28
III.6.9.Crochet de levage.....	28
III.6.10.Prise de mouvement mécanique.....	28
III.6.11.Boite à vitesse	28
III.6.12.Clé de manœuvres.....	28
III.6.13.Plancher.....	28
III.6.14.Accessoires	28
III.7.Tube plein	29
III.8. choix des tubages	29
III.8.1.Le diamètre des tubages.....	29
III.8.2.Résistance mécanique des tubages.....	30
III.9.La cimentation	30
III.9.1.Calcule le volume de laitier de ciment.....	31

III.9.2. Calcule la quantité de ciment	31
III.9.3. Calcule le volume d'eau.....	31
III.10. Les outils de forage	32
III.10.1. Outils à lames.....	32
III.10.2. Outil à molettes (rockbits)	32
III.11. Conclusion	33

CHAPITRE IV. FLUIDES DE FORAGE (BOUE DE FORAGE)

IV.1. Introduction.....	34
IV .2. Les fluides de forage.....	34
IV .3. Rôles des fluides de forage	34
IV .4. La boue	35
IV .4.1. Caractéristiques de la boue de forage	35
IV .4.1.1. Caractéristiques physico- chimiques –densité-.....	35
IV.4.1.2. Caractéristiques rhéologiques	35
IV.4.1.3. Problème de contamination	36
IV .4.2.1. Boue à la bentonite	36
IV .4.3. Boue à l'huile émulsionnée	36
IV.5. Air comprimé.....	38
IV .6. Moyenne d'injecter la boue de forage	38
IV .7. Circuits de fluides de forage	39
IV .7.1. Circulation normale	39
IV .7.2. Circulation inverse.....	52
IV .8. Recommandations pour l'utilisation des fluides de forage.....	40
IV .9. Conclusion	40

CHAPITRE V. ESSAI DE NAPPE ET POMPAGE

V.1. Introduction.....	41
V.2. Essai de nappe.....	41

V.3.Recommandation	41
V.4.Tenues des parois du forage.....	41
V.5.Mise à l'eau claire	42
V.6.Essai	42
V.7.Mise à l'eau développement	43
V.7. a. Lavage	43
V.7.b. Développement	44
V.8.Il existe différents procédés de développement	45
V.9.Essai de pompage.....	46
V.10.Principaux types d'essais de pompage.....	47
V.10.1.Essai par paliers	47
V.10.2.Essai à débit constant	48
V.10.3.Essai de remontée.....	48
V.11.Préparatifs de l'essai de pompage	50
V.12.Équipement d'observation de base	50
V.13.Observation du niveau d'eau.....	50
V.14.Observation des débits de pompage.....	50
V.15.Autre équipement disponible	52
V.16.Conclusion	52

CHAPITRE VI.

HYDROCHIMIE

VI.1. Introduction.....	53
VI.2.l'eau souterraine	53
VI.3.Echantillonnage	53
VI.4.Paramètre physico-chimiques.....	53
VI.5.Mesures in situ.....	57
VI.6.Analyses au Laboratoire	58
VI.7.Qualité des données	58

VI.7.1 Conversion l'unité de l'élément majeur	59
VI.8. Le faciès chimique	59
VI.9. Le diagramme de Piper	59
VI.10. Conclusion	60

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE I. REALISATION DE FORAGE

I.1. Introduction	61
I.2. Les étapes de forage de puits d'eau	61
I.3. L'étape pratique de la construction du puits	63
1. La première étape	63
2. La deuxième étape	65
3. La troisième étape	69
I.4. échantillon de formation géologie	70
I.5. Lavage de puits	71
I.6. Massif filtrant	71
I.7. Développement par émulseur (Air lift)	72
I.8. Rapport de fin du sondage	74
I.9. Conclusion	74

CHAPITRE II. QUALITE L'EAU

II.1. Introduction	75
II.2. Caractéristique physique	75
II.3. Caractéristique chimique	75
II.4. Fiche technique de laboratoire d'Ouargla	76
II.5. la balance ionique	76
II.6. Le diagramme de piper	77
II.7. Faciès chimique	78
II.8. conclusion	78

Introduction générale

La réalisation des forages est un métier très ancien. Les Chinois déjà utilisaient les tiges du bambou pour forer à plusieurs centaines de mètres de profondeur, jusqu'au l'arrivé de Bernard Palissy inventeur de la sonde, et en fin les pétroliers qui ont tout dit sur le sujet. Le forage d'eau est une infrastructure inscrite aujourd'hui dans un cadre de développement durable, de gestion et de protection de la ressource.

Elle est essentielle pour différentes activités ayant recours aux eaux souterraines : alimentation en eau potable, embouteillage, thermalisme, géothermie, industrie, agriculture, etc. Un forage d'eau est une infrastructure complexe dont la qualité et la longévité dépendent des conditions de réalisation et des matériaux utilisés ainsi que des conditions d'exploitation et d'entretien.

Le polycopier est destiné aux étudiants de licence et de master hydrogéologie. Les informations contenues dans ce polycopier ont été accumulés de nombreuses sources différentes, pour objectif de présenté les différents techniques de forage et de captage des eaux souterraines, et de montrer comment réaliser un forage, l'équiper, l'exploiter et le protéger suivant les règles de l'art.



Donnes générale

1.Situation géographique et administrative de la région de Touggourt

Touggourt était la capitale historique de la région de l'oued Righ comprise entre le grand Erg Oriental, au sud-est et la zone des chotts, au Nord.

D'un point de vue administratif, la daïra de Touggourt appartient actuellement à la wilaya d'Ouargla. Elle est située à 600 Km au sud-est d'Alger dans le Sahara Nord oriental entre le grand Erg oriental et le massif des Aurès (Fig. 01, 02).

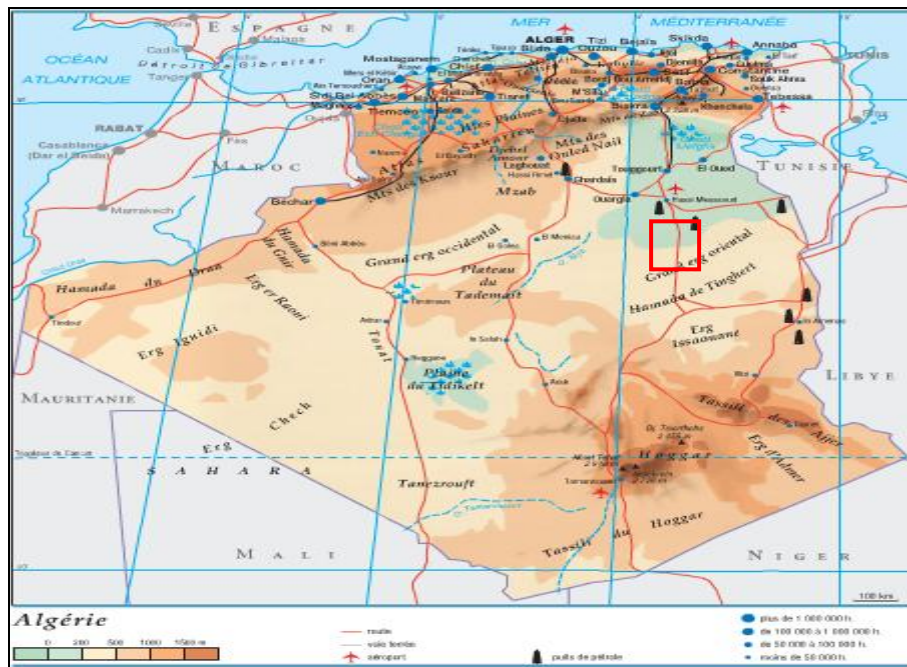


Fig.01 : Situation géographique de la région Touggourt, d'après Larousse (2004).



Fig.02 : Carte de situation géographique de Touggourt, d'après Larousse2004.

Données Générales

La région de Touggourt est située entre les latitudes nord 32° 54' et 34° 9' et les longitudes Est 5° 30' et 6° 20'. L'altitude est proche de 70 m.

Cette région, peuplée d'environ 173 000 habitants, couvre une superficie de 1334 km².

Elle est divisée administrativement en 3 (trois) daïra et 5 (cinq) communes qui sont les suivantes :

- TOUGGOURT
 - ZAOUIAT SIDI EL ABED
 - EL NEZLA
 - TEBESBEST
- EL MGARINE
 - SIDI SLIMANE
- TEMACINE
 - BELIDAT AMOR

Tab 01 : Population et surface de chaque commune de la région de Touggourt.

Commune	Population	Surface en Km ²
TOUGGOURT	37237	172,17
Z. SIDI EL ABED	16200	23,72
TEBESBEST	30597	26,45
NEZLA	42477	120,18
TEMACINE	15802	231,98
BELIDAT AMAR	12345	126,2
MEGARIN	11452	186,78
SIDI SLIMAN	7152	447,13
Total	173262	1334,61

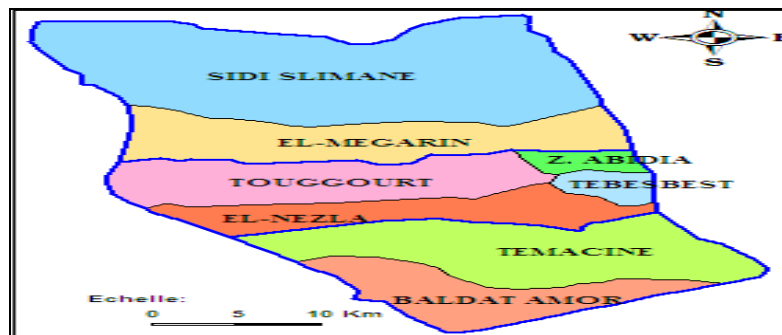


Fig.03: Carte de découpage administratif de la région de Touggourt.

2.Représentation de la station utilisée

Nous nous sommes basées sur des données climatologiques portées sur l'intervalle des années hydrologiques (2004-2013) selon les paramètres enregistrés par la station de Touggourt dont les coordonnées sont les suivants : Attitude : **33°11'N**- Longitude : **06°13'E** Altitude: **85m**

Cette étude est basée sur les valeurs mensuelles et annuelles de la température de l'air, l'humidité relative et vitesse du vent.

3 Analyse des paramètres climatiques

3.1. Précipitations

Le tableau ci dessous donne la précipitation moyenne, mensuelle observée durant la période (2004-2013).

Tab. 02 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (2004-2013)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
p (mm)	5.6	7.6	1.6	4.5	14.8	1.1	4.2	9.5	3.0	0.8	0.1	3.9

Source (ONM–Touggourt)

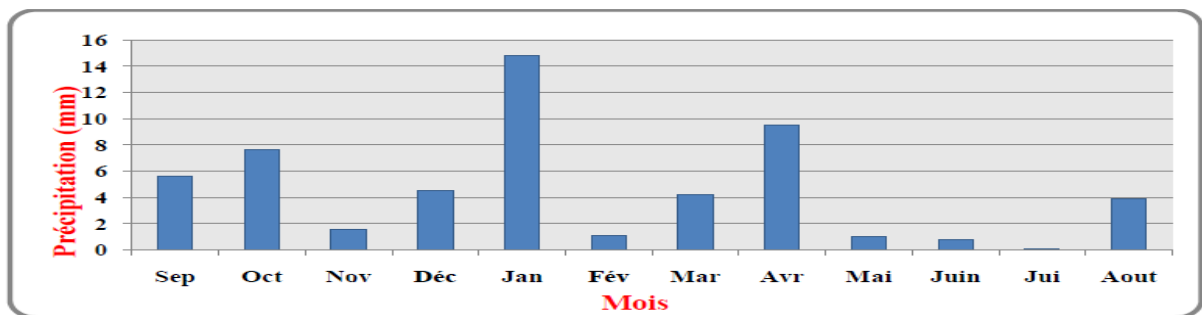


Fig.04:Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (2004-2013) de Touggourt.

Selon les données, nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations. On constate que :

Le mois de janvier est le plus arrosé avec 14.8 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0,10 mm. La moyenne annuelle interannuelle est d'ordre de 53.8 mm.

3.2 La température

La température joue un rôle primordial sur le climat. Dans notre zone d'étude, de type désertique, elle a plus d'ampleur et influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère. Elle est donc le paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrique.

Données Générales

Tab 03: La température moyenne mensuelle

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Tempé en c°	28,97	23,21	16,15	12,06	8,83	12,41	17,29	21,53	26,49	31,42	34,01	33,64

Source (ONM–Touggourt)

Les températures moyennes journalières oscillent entre 8.83 et 34.01°C à l'ombre pendant l'été. Durant la période allant de 2004 à 2013, la moyenne mensuelle des températures est de l'ordre 22.12°C. D'après le tableau (05) et le figure (11) des variations moyennes mensuelles des températures on conclu que: La température moyenne mensuelle est maximale au mois de Juillet avec une valeur d'ordre de 34,01°C et minimale au mois de Janvier avec une valeur d'ordre de 8,83 °C.

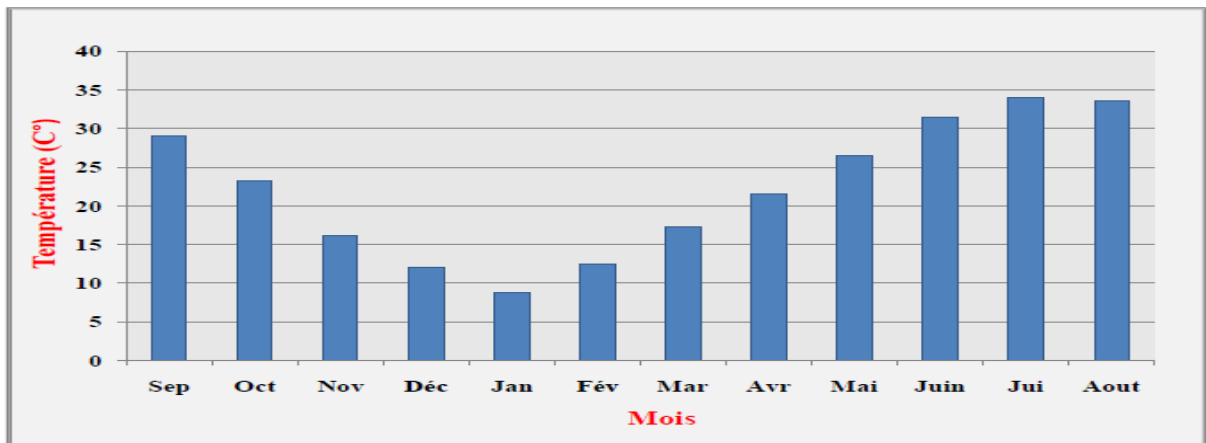


Fig.05:Histogramme des températures moyennes mensuelles (2004.2013) de Touggourt.

4.FACTUER CLIMATIQUES

4.1. L'humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation. Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relatives moyennes observées en 10 ans d'observation le graphe qui en découle permet de distinguer les mois secs, et les mois relativement humides.

Tab04: Humidité moyenne mensuelle.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
H %	43,7	50,56	55,81	63,48	64,75	53,66	45,93	41,68	37,06	32,50	29,70	32,15

Source (ONM–Touggourt)

Données Générales

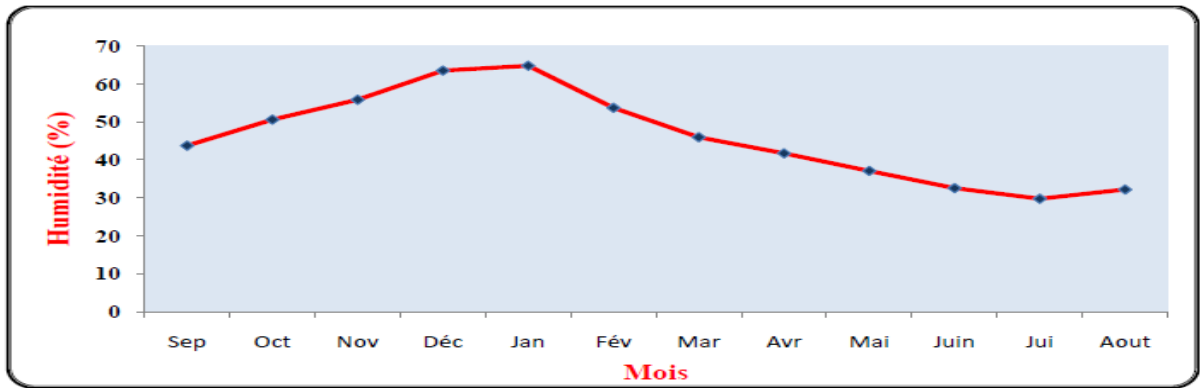


Fig.06: courbe de variation d'humidité moyenne mensuelle (2004-2013) De Touggourt.

On remarque d'après le graphe que les mois « humides » ($H > 45,91\%$), sont Janvier, février, mars, Octobre, Novembre et Décembre et les mois « secs » caractérisant le reste de l'année.

En constate que un minimum enregistré pendant le mois de Juillet avec une valeur de l'ordre de 29,70 % et un maximum enregistré pendant le mois de Janvier avec une valeur de 64,75 %. L'humidité relative est de 41,55 % en hiver et de 31,45 % en été.

4.2. Vitesse des vents

- Vitesse des vents en 1/10m/s (2004-2013) :

Tab 05: Vitesse des vents moyenne mensuelle.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Vitesse 1/10m/s	2,98	2,52	2,21	2,11	2,18	2,93	3,45	3,88	3,71	3,41	3,05	2,87

Source (ONM–Touggourt)

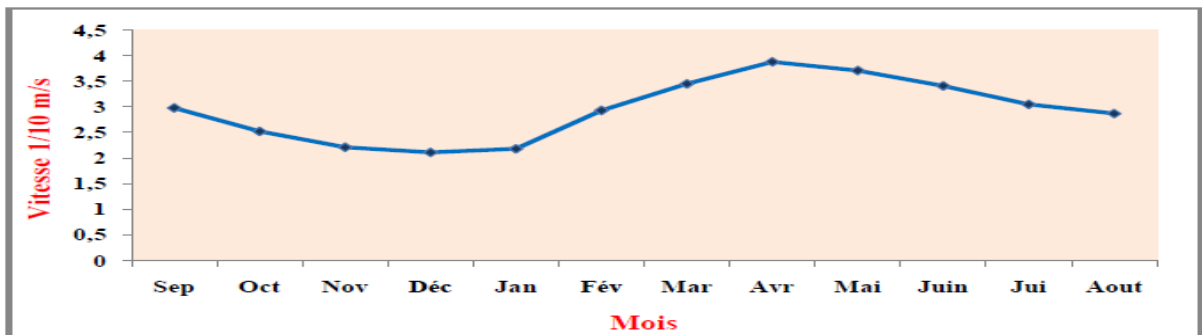


Fig.07: courbe de la Vitesse des vents moyenne mensuelle.

5. Activité économique

De part sa situation géographique au nord du Sahara, le voisinage des champs pétroliers et gaziers et la production des dattes, cette région est devenue actuellement un pôle économique important.

La ville de Touggourt est aussi le dernier point, vers le sud est, du chemin de fer.

L'activité principale a longtemps été basée sur l'agriculture et, notamment, l'exploitation du palmier-dattier. Mais, au fur et à mesure que Touggourt devenait une cité administrative importante, d'autres activités, initialement embryonnaires, se sont développées : l'artisanat, le tourisme et plus récemment, quelques petites industries.

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité, est quelque peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers, dû aux effets néfastes de la « salinisation » des eaux et des sols, du phénomène de « remontée des eaux », du vieillissement des palmiers etc.... De plus, les sociétés pétrolières offrent des emplois plus rémunérés et accentuent, malgré l'aide de l'état pour la mise en valeur des terres, le déséquilibre au détriment de l'activité agricole.

Les dernières statistiques (1998) montrent que l'agriculture n'occupe, dans la région de Touggourt, qu'une faible main d'œuvre.

Etant donné le contexte climatique hyper aride, l'agriculture est très consommatrice d'eau.

Parmi les espèces cultivées on note la prédominance du palmier dattier, notamment la variété « DaglatNour ».

En dehors du palmier dattier, les autres espèces culturales sont peu développées et n'occupent que 10 à 15% de la superficie cultivée.

On note aussi l'existence d'élevage de quelques espèces animales typiques.

Dans le domaine de l'industrie il existe plusieurs petites usines, surtout des briqueteries (8), implantées à proximité de la source de matière primaire, ainsi que des complexes de transformation d'hydrocarbures (DTP¹, transformation de plastique), fabrique d'aluminium, ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Le tourisme existe aussi. Il occupe une partie importante de la population de Touggourt à cause de l'existence de quelques repères touristiques comme les oasis, le lac de Témacine, les anciennes médinas de Touggourt et de Témacine etc....

Département de transport et production.

Données Générales

Enfin, citons l'existence dans cette région de la Zaouïa Tijania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année.



Fig.08 : Photo du lac de Témacine.

6.Géomorphologie

La région de Touggourt occupe un large fossé en forme d'arc orienté nord-sud, le plus souvent dénommé « oued Righ », qui repose sur les formations du Mio-pliocène et de l'Eocène. Les pentes topographiques y sont faibles et les reliefs peu marqués. La dénivellation entre le haut et le bas du paysage ne dépasse pas la centaine de mètres sur 100 km ; la pente globale est de l'ordre de 1%.

Cette région est connue sous le nom de Bas Sahara, à cause de sa basse altitude, notamment dans la zone des chotts au nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer.

7.Besoins et ressources en eau :

Tab 06 : Besoins et ressources de la région de Touggourt.

	Besoin l/ j/ hab	Ressources			Débit du canal en différentes stations m ³ /s
		AEP l/s	AEI l/s	IR l/s	
Beldat Amor	150	50	0,00	1234,50	0,26
Témacine	170	70	0,00	687,82	0,81
Touggourt	200	120	15,00	417,00	1,30

Données Générales

Sidi El Abed	200	120	0,00	543,52	1,30
Tebesbest	200	120	2,50	535,26	1,30
Nezla	200	120	0,00	1590,44	1,30
Megarín	200	120	0,00	653,84	2,14
Sidi Slimane	240	120	0,00	663,00	2,45
Total	1560	840	17,50	6325,38	2,45
Moyen	195				

Dans la région de Touggourt, les ressources en eau existantes sont supérieures aux besoins. Le besoin journalier (en moyenne : 195 l/j/h) dépasse les normes mondiales (100 à 150 l/j/hab). De ce fait, les ressources mobilisées pour l'AEP (alimentation en eau potable), l'AEI (alimentation en eau industrielle) et l'AEA (alimentation en eau d'irrigation) sont supérieures aux besoins respectifs. On constate aussi que le débit fourni pour l'agriculture est très supérieur à ceux des autres secteurs d'activité.

Le débit du canal de l'oued Righ est de l'ordre de 260 l/s au point de départ (Beldat Amor) et augmente progressivement vers l'aval (2450 l/s à Sidi Slimane).

8. Conclusion :

La région de Touggourt, d'une altitude proche de 70 m, fait partie du Bas Sahara recouvert au sud par le grand Erg oriental et bordé au nord par la zone des chotts. Administrativement, elle appartient à la wilaya d'Ouargla. Elle couvre une superficie de 1 334 km² et sa population est de 173 000 habitants.

Elle est caractérisée par un climat hyperaride, marqué par de fortes températures estivales et de faibles précipitations annuelles.

La principale activité est la culture du palmier dattier, mais il y a aussi l'artisanat, le tourisme et une petite industrie basée sur la transformation des dérivés d'hydrocarbures.

Dans cette région, le manque d'eau ne se pose pas en revanche, les rejets d'eaux domestiques et les surplus de l'irrigation posent d'énormes problèmes.



PARTIE
THEORIQUE



CHAPITRE I
HYDROGEOLOGIE

I.1.Introduction

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes. L'agriculture est la principale activité dans ce territoire. Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- ✓ Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, donc le régional de Touggourt.
- ✓ Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :
 - Continentale Intercalaire.
 - Complexe Terminal.

Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

I.2.Hydrogéologie régionale

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780000 km². On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses ou évaporitiques de la base du Crétacé Sud

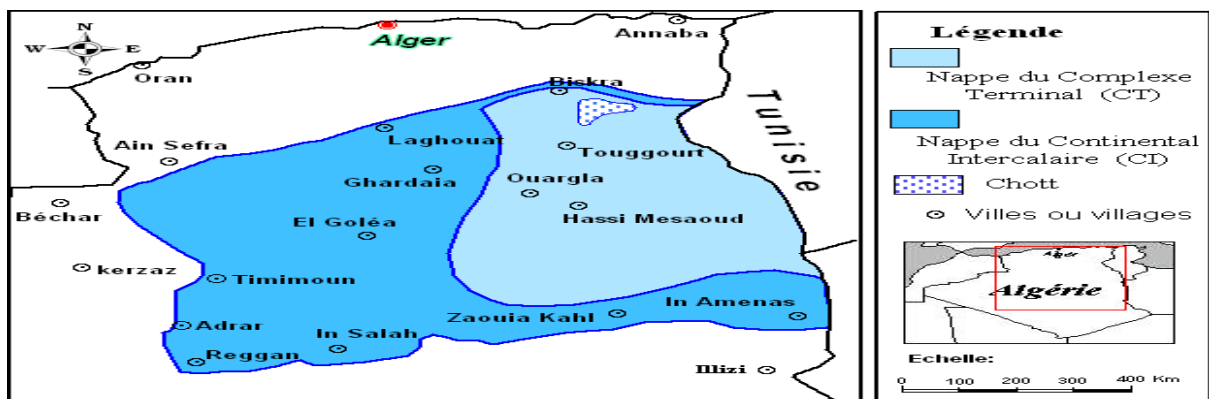


Fig.09 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications¹, 2002.

¹ Journées d'étude sur : *L'eau souterrain et ces problèmes techniques actuels*,
Communication de la direction régional sud/ANRH/ Ouargla, 27 avril 2002.

I.3. Continentale Intercalaire

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **600 millions m³** environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien ». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigner l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (**250 -1000 m** épaisseur).

I.3.1. Limites et morphologie du continental intercalaire

Est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Reggan et au Sud par l'axe Reggan- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne. Il est partagé par la dorsale du M'Zab en deux bassins : 9 10

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.

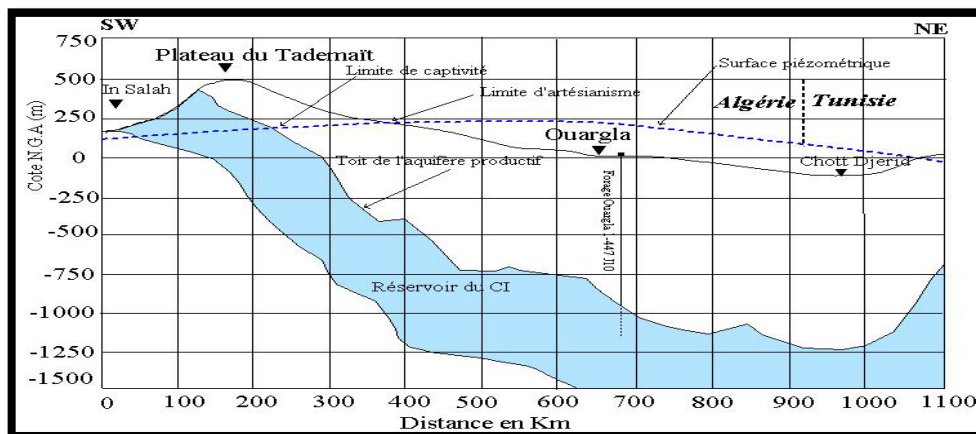


Fig.10 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.

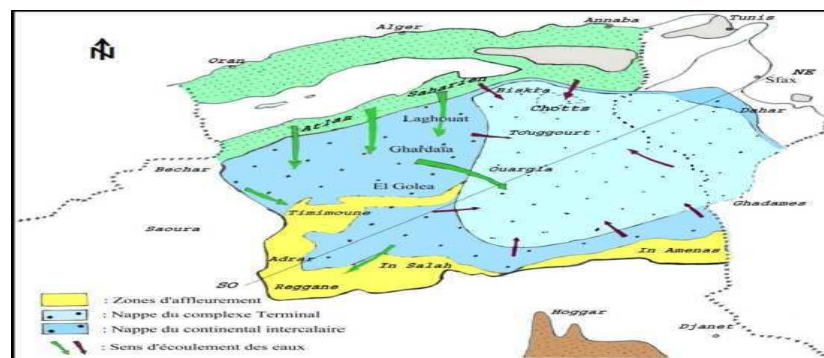


Fig.11: Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972).

La transgression Cénomaniennne donne au Continentale Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure. AU périphérique, le Continentale Intercalaire, se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation. Au sens large, le Continentale Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien [la définition donnée par l'UNESCO dans « l'étude sur les ressources en eau du Sahara Septentrional ».

I.3.2. Toit du réservoir

Le toit du CI débute presque toujours au toit de l'Albien +2000m par apport au sol, le mur de CI coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tademaït et du Tinhert. Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara-Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras .à l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de l'Oued Righ. Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas Saharien.

I.3.3. Alimentation

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas Saharien ; la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée en **2,5** milliards /an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés : Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à **3.5X** milliards, ce qui se signifie qu'il faudrait un débit continu de **1000m/s** pendant **1000 ans** pour le remplir. **D\ Les exutoires** Ils sont constitués par : 3 m 9 10 3 m 3

- **Les foggaras** : longues galeries drainantes, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental).
- **Les puits artésiens** (bassin oriental).
- **Les sebkhas** : vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

I3.3.4. épaisseur du réservoir :

Son épaisseur utile est souvent déterminée à partir des diagraphies, cette épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série gréseux-sableuse. Les plus fortes épaisseurs sont localisées de l'Est d'El Goléa ou elles sont comprises entre **750m** et **1000m**. La vallée de l'Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à **350 m**. les caractéristiques du réservoir montrent que les niveaux argileux ne constituent jamais des horizons continus de grandes extensions qui permettraient la formation d'un système aquifère multicouche.

- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie).

Le Continentale Intercalaire proprement dit nappe d'eau douce comprise dans les grès Abo-Barrémiens.

I.4. Le Complexe Terminal

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le CI néanmoins, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara Septentrional, sur environ **350.000** ; sa profondeur oscille entre **100** et plus de **500m** et son épaisseur, en moyenne de **220 m**. Sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (**CT**) les formations les plus récentes, déposées au Bas-Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et lithologie différentes, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables ce sont : 2 km

- ⇒ Au sommet, des sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale de M'Zab à l'Ouest jusqu'au Dahar Tunisien à l'Est, l'épaisseur de l'aquifère des sable **50-100m** en moyenne, minimale dans la région de Hassi Messaoud **30m**, augmente vers le Sud **400 m**, et le Nord ou elle peut atteindre **600 m**.
- ⇒ Les formations carbonatées des Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du Bassin Oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne de Djamaa – Tozeur.
- ⇒ Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne de réservoir carbonaté est de **100 à 200 m** augmentant vers le Nord, atteint **500 m** sous le chott Melghir et **600 m** dans la fosse Atlasique.

⇒ Le complexe terminal d'après P'ERESS (1972) comprend les formations les plus récentes déposées au bas Sahara est limité à l'Ouest par la dorsale de M'Zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par une ligne passant au Nord de l'axe In Saleh-Zarzaitine sous l'Erg oriental.

I.5.La nappe phréatique

Elle est continue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par apport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène.

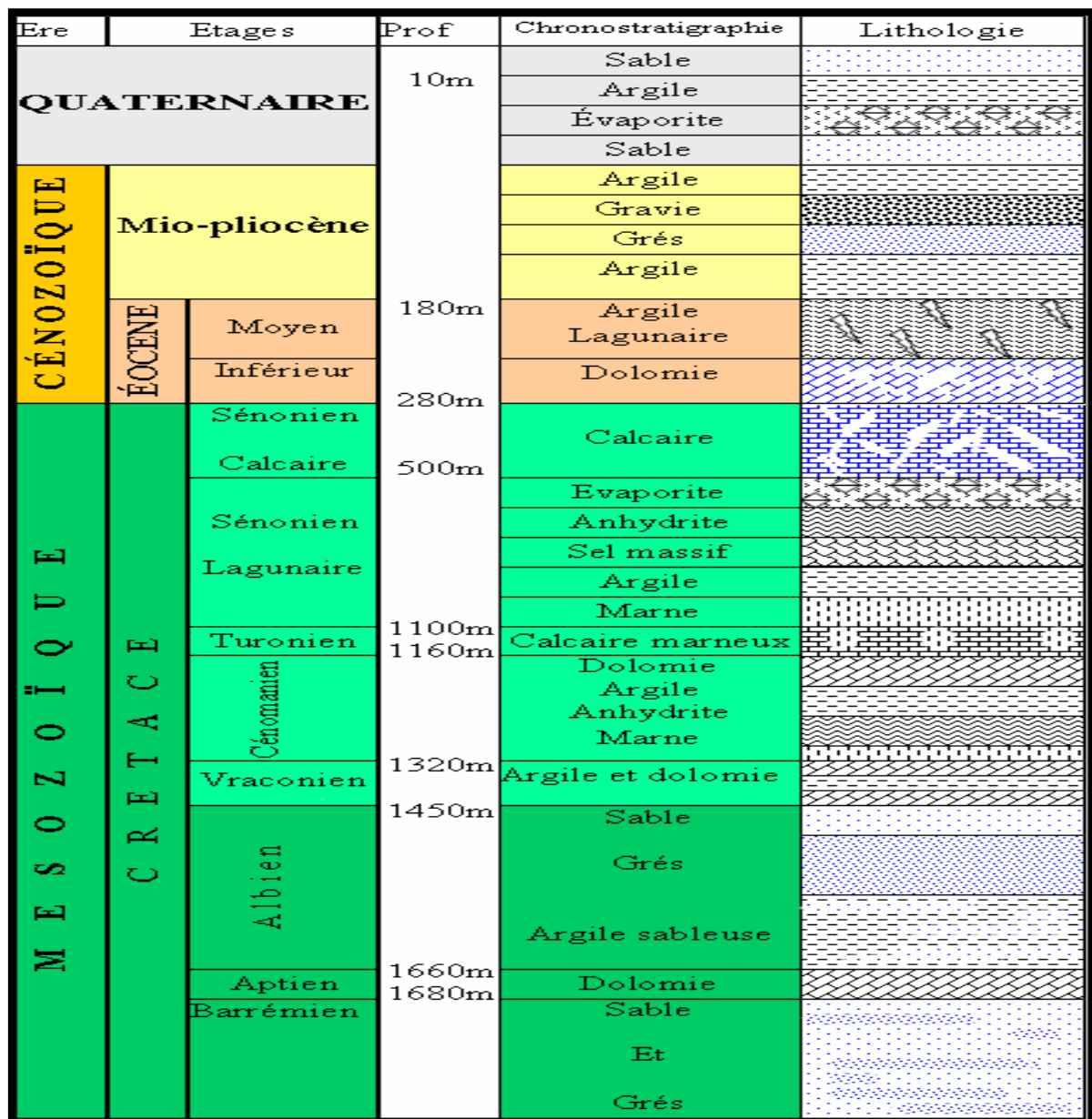


Fig12: Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt, (sans échelle).

Tab. 07: Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)

ERE	Etage	Lithologie	Nature Hydrogéologique	
Quaternaire		Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)	
		Argiles, évaporites.	Substratum (impermeable)	
Tertiaire	Mio-Pliocène	Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).	
		Argiles gypseuses	(semi-perméable)	
	Eocène	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).
		Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
Secondaire	Crétacé	Inférieur	Nappe des calcaires (Complexe Terminal).	
		Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albien Barrémien	Sables et grès	Nappe albienne (Continental Intercalaire).

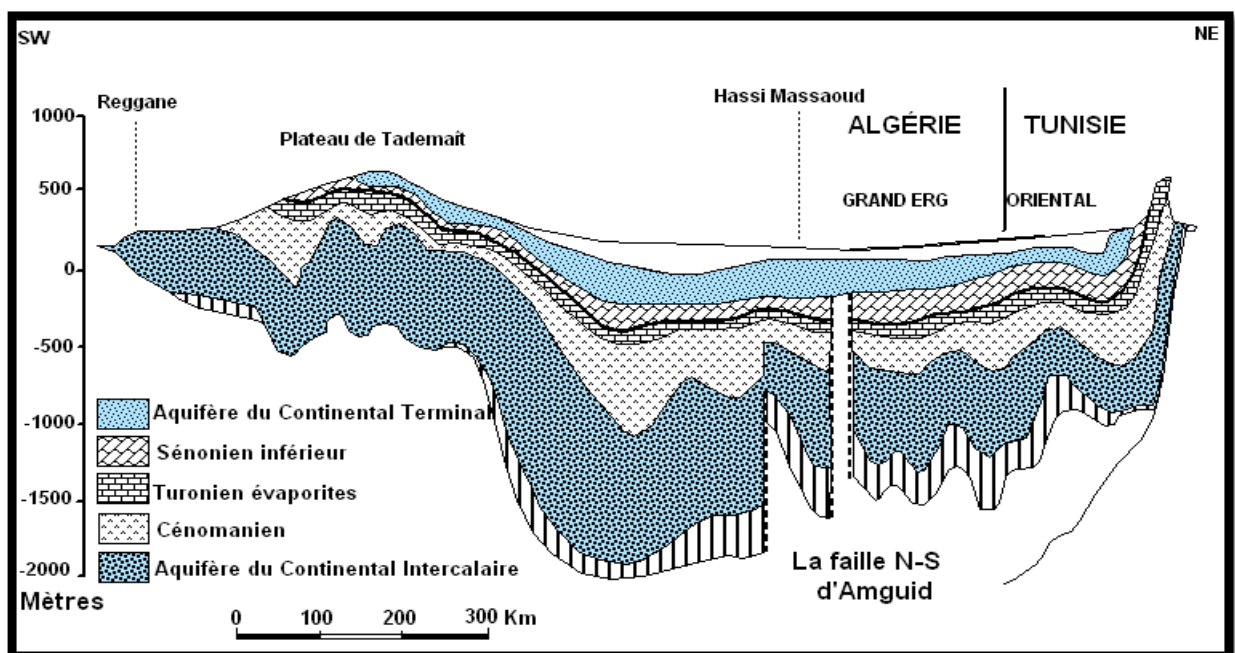


Fig.13: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

Dans la région étudiée, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base de Crétacé supérieur, il s'agit du :

- ⇒ Continental intercalaire **CI**, aquifère profond compose de sable gréseux ou gréseux argileux.....

- ⇒ Complexe terminal **CT** compose de trois nappes superposées :
- ⇒ l'une dans les sables et argiles du Pliocène **CT1**.
- ⇒ L'autre dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur **CT2**.
- ⇒ La troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur **CT3**.
- ⇒ Au dessus existe un aquifère superficiel à nappe libre, la nappe phréatique.

La nappe phréatique est présentée dans toutes les oasis de la vallée.

- ⇒ Elle est contenue dans les sables fin à moyens, d'âge Quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord et sa puissance moyenne est d'une vingtaine de mètres.

I.6. Les nappes du complexe terminal

Le complexe terminal est constitué de deux grands ensembles, l'un continental au sommet, l'autre marin à la base.

I.6.1. La première nappe des sables CT1

Hormis, La nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre **50 à 100 m**. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio-Pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum, et son toit est constitué par des argiles et des évaporites .c'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens, de l'ordre de **20 à 40 l/s**(le débit global d'exploitation proche à $6 \text{ m}^3 / \text{s}$) cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

I.6.2. La deuxième nappe CT2

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène .comme la première nappe, elle est formée essentiellement de grès, de gravier et de sable avec la présence de quelques lentilles argileuses. Son épaisseur est de **20 à 36m**, elle est très exploitée avec un débit variant entre **25-45 l/s**. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

I.6.3. La nappe du calcaire du Sénonien- Eocène CT3

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse, sa puissance de 350m ,200m à Touggourt, 360m à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artisanisme étant à l'origine plus important au Nord. A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux.

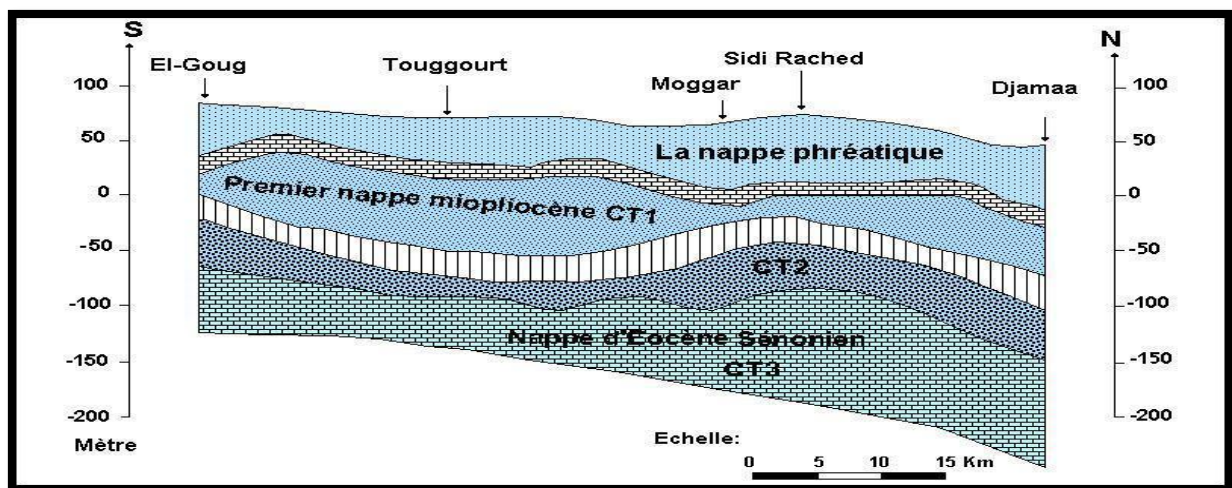


Fig. 14 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ

I.7. Nappe du Continental Intercalaire dans le secteur de la région Touggourt

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. L'épaisseur de la couche productive peut dépasser 500 m, mais son épaisseur utile est proche de 400m. Le réservoir du Continental Intercalaire est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien et Albien).

La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Touggourt est caractérisée par:

- Sa grande profondeur, plus de 1500 m.
- Un fort artésianisme (15 à 20 bars).
- Un grand débit d'exploitation (250 à 400 l/s).
- Une température de l'eau élevée (50 à 65°C).
- Une charge en CO₂, qui lui donne un caractère corrosif.
- Un résidu sec des eaux variant entre 3 et 5 g/l.

I.8. Conclusion

Le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) représentent deux systèmes aquifères multi couches, qui renferment des réserves en eaux considérables à plus de 30 000 milliards de m³. Faiblement réalimentées actuellement, ses réserves se sont constituées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. La région des chotts constitue l'exutoire naturel de ces complexes hydrauliques. Le Continental Intercalaire (CI) est constitué par des sédiments déposés entre le Trias à l'Albien et représentés par une alternance des couches grésos-sableux et argileuses où les niveaux perméables sont prédominants. A Touggourt, la nappe est captive, artésienne, située à plus de 1400m d profondeurs et la température de l'eau est élevée. Dans la zone d'étude, elle est exploitée par 9 forages, parmi lesquels deux sont bouchées, avec un débit total oscillant autour de 1200 l/s.



CHAPITRE II

EXPLORATION ET

RECONNAISSANCE

II.1.Introduction

Parmi les méthodes de reconnaissance géologique et géotechnique, les forages et sondages tiennent une place importante du fait des renseignements qu'ils peuvent fournir par eux-mêmes, ou grâce à l'adjonction de systèmes complémentaires d'information.

Les principaux domaines d'intervention du forage peuvent être groupés sous les rubriques suivantes :

- Recherche et exploitation de matières utiles : minerais, charbon, eau, pétrole, matériaux de carrières.
- Reconnaissance des sols dans le cadre d'études géologiques, géotechniques, hydrogéologiques, pédologiques.

Préparation de sols en vue de la réalisation d'ouvrages de génie civil : pieux forés, injections. Le présent article s'intéresse plus particulièrement à la deuxième et à la troisième rubrique, en y incluant la reconnaissance de carrières qui s'y relie par la fourniture de matériaux pour la construction et l'empierrement. Bien qu'étant une technique très ancienne, le forage s'est beaucoup développé avec les recherches minières et pétrolières, et il a mis à profit de nombreuses innovations techniques déterminantes comme l'utilisation de matériaux très durs et d'aciers spéciaux, l'air comprimé, la transmission hydraulique.

Le sondage de génie civil utilise des matériels qui sont en quelque sorte des modèles réduits des machines pétrolières. Les matériels existants sont très nombreux et variés, et l'on trouve sur le marché des machines et outillages plus ou moins spécialisés, aptes à répondre aux différents types de problèmes posés. Nous passerons en revue les diverses méthodes de forage et sondage et les principaux types de matériels en regard des problèmes qu'ils sont appelés à traiter. Nous nous intéresserons également à certains appareillages et techniques destinés à valoriser des opérations toujours coûteuses en investissement et en fonctionnement.

II.2. Cartographie

L'utilisation de la cartographie géologique et hydrogéologique permette d'avoir des informations concernant les caractéristiques (nature et qualité) de l'aquifère et des différentes formations où se trouve. Ces informations sont en particulier :

- l'endroit et l'étendue de l'aquifère
- le type de la nappe (libre, captive, semi captive)
- la structure de l'aquifère (fissures, failles...etc.)

- la structure des limites : toit et substratum
- la liaison et les relations avec les écoulements de surface (cours d'eau, plan d'eau...etc.).

II .2.1. Cartes hydrogéologiques :

Les données obtenues par études géologiques et structurales conduisent à la réalisation des cartes et coupes hydrogéologiques. Ces coupes hydrogéologiques sont élaborées par la superposition sur des coupes géologiques, des données de l'écoulement souterrain (la surface piézométrique, la surface d'alimentation directe ou indirecte, le drainage et les pertes en surface et en profondeur).

II .2.2. Cartes structurales :

Les cartes structurales dont leur but est de présenter les formations perméables (réservoir), sont élaborées par la synthèse des données géologiques, des conditions aux limites et des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, pente, vitesse, gradient hydraulique). Ce type de cartes permet d'établir la carte isohypse (d'égale altitude), la carte isobathe (d'égale profondeur), et la carte isopaches (d'égale épaisseur de l'aquifère).

II .2.3. Cartes piézométriques :

Les cartes piézométriques présentes en un temps donné, la distribution spatiale de la charge hydraulique. Elles sont obtenues par les mesures des niveaux piézométriques. L'analyse de la surface piézométrique vise le tracé des lignes de courant et l'indication sur elles le sens d'écoulement ; dont des courbes fermées traduisent des dômes (sommets) caractérisant des zones d'alimentation, ou bien des dépressions des zones de captage.

Pour une section constante d'écoulement, le gradient hydraulique est proportionnel au débit d'écoulement dans la nappe, et inversement proportionnel à la perméabilité de la nappe. Pour une largeur constante de l'aquifère, la variation du gradient hydraulique (piézométrique) est le résultat de la variation de la perméabilité, de l'épaisseur de la nappe ou bien du débit (infiltration par exemple). Des ruptures de la piézométrie peuvent être le résultat de présence d'accidents tectoniques. Des accidents sont souvent associés à des alignements de sources artésiennes.

L'analyse des fluctuations temporelles de la piézométrie des nappes libres donne des informations sur la recharge par infiltration, sur la réserve disponible et sur les niveaux et débits d'étiage des cours d'eau.

D'autres cartes sont encore utiles : la carte topographique, la carte hydrologique, la carte pédologique et la carte d'occupation de sol.

II .2.4. Photos aériennes :

La photographie aérienne peut fournir des informations qui ne peuvent pas être directement observées sur le terrain ; certaines failles et anciens lits de rivières. Elle forme aussi un moyen efficace pour l'identification et l'analyse des fractures, qui constituent des lignes naturelles d'une taille infra- kilométrique sur la photo aérienne, les traces linéaires dont la largeur dépasse l'ordre de kilomètre sont appelées linéaments ; qui représente fréquemment des zones de grande perméabilité. Elle indique aussi des informations essentielles pour l'implantation des forages et puits.

II .2.5. Télédétection :

Réalisée par des images satellitaires, elle permet le traitement numérique des images pour mieux systématiser et simplifier le traitement de l'information, et en même temps la reconstitution de documents à des échelles différentes. Elle permet encore l'identification des structures géologiques et des matériaux de surface, l'identification des zones humides (résurgences, affleurements de nappes, zones de recharge), et l'obtention et la mise à jour de l'occupation de sol pour l'évaluation de la vulnérabilité des nappes.

II .3. Méthodes géophysiques

Les méthodes géophysiques consistent à effectuer depuis la surface du sol, des mesures de paramètres physiques dont l'interprétation permet d'imaginer la nature, la structure et les caractéristiques du sous sol.

Les informations recherchées par ces méthodes sont :

- l'épaisseur et la nature du recouvrement
- la présence et la nature des zones fissurées
- l'existence des fractures
- la profondeur du substratum
- la localisation et les caractéristiques de l'aquifère

II .3.1. Prospection par sismique de réfraction :

Le principe de la sismique de réfraction est qu'un ébranlement à la surface de sol, se propage dans le sol en s'amortissant à la façon d'une onde sonore. La sismique de réfraction consiste à étudier la propagation des ondes élastiques (ondes longitudinales).

Leurs temps d'arrivée, mesurés en différents sismographes ou géophones (récepteurs des ondes sonores) disposés le long d'un profil, sont par la suite portés en graphique en fonction des distances de ces géophones Si au point d'explosion E (point d'ébranlement : point d'impact).

On obtient généralement une ligne brisée ou dromochronique d'où se déduisent les vitesses de propagation des ondes dans les couches et les épaisseurs respectives de ces dernières. On réalise classiquement un tir direct et un tir inverse (on permute l'emplacement des géophones et du point d'impact).

La forme des dromochroniques obtenues, permet de préjuger l'allure du substratum (pente, décrochements) et de la présence d'accidents (failles, cavités...etc.). En plus de l'évaluation des profondeurs, la sismique de réfraction donne aussi des indications sur les caractéristiques mécaniques du sol, grâce à l'évaluation des vitesses de propagation de l'onde.

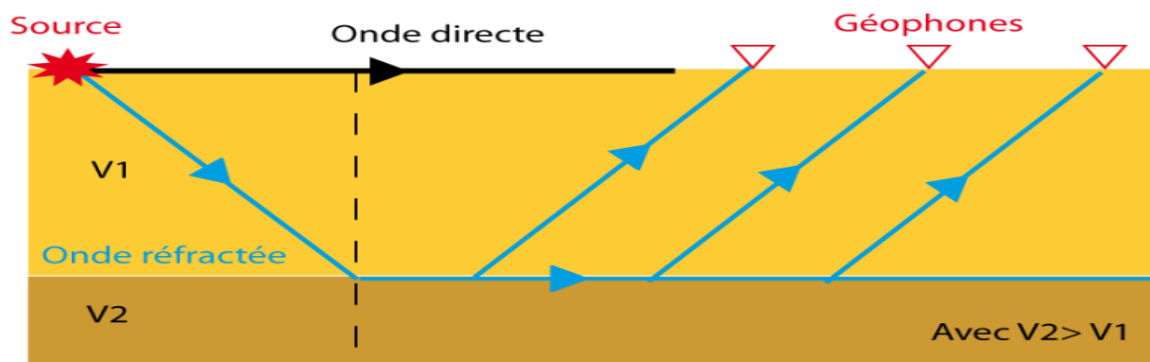


Fig.15 : Schéma prospection par sismique de réfraction

II .3.2. Prospection électrique :

La prospection électrique permet de étudier les variations latérales et verticales de la résistivité apparente du sous sol ρ_a . Pour cela, on envoie dans le sol, grâce à des électrodes A et B, un courant d'intensité I, puis on mesure la différence de potentiel ΔV , produit par l'effet d'Ohm, entre deux électrodes de référence M et N (dispositif quadripôle). En appliquant la loi d'Ohm, on calcule la résistivité apparente par :

$$\rho_a = k \cdot \Delta V / I$$

ρ_a : la résistivité apparente (Ωm)

k: coefficient (selon dispositif)

ΔV : le gradient de potentiel (V)

I : intensité du courant (A)

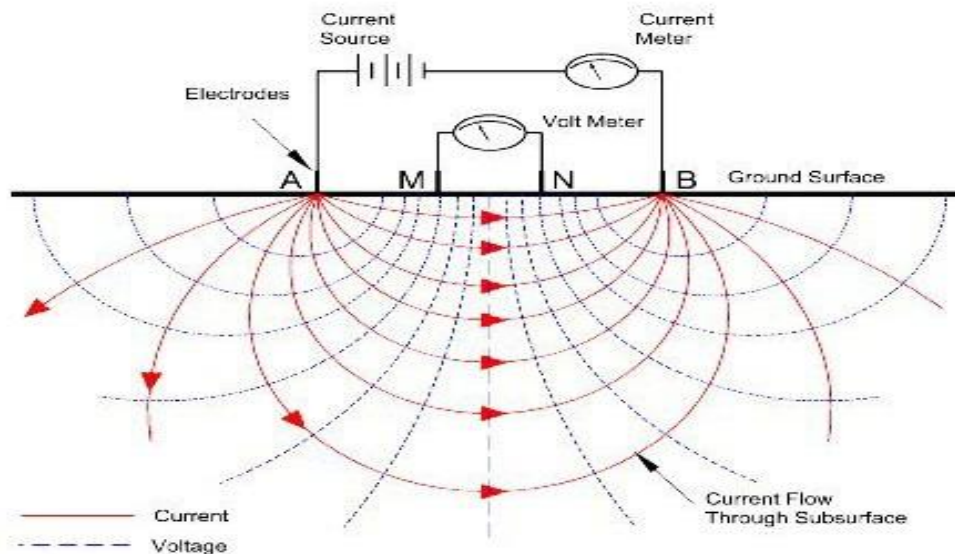


Fig.16 : Schéma de la prospection électrique

Tab 08 : Résistivité de sol et sol saturé

Type de sol	Résistivité	Résistivité du sol saturé
Argile	3 à 5	5 à 10
Sable	40 à 150	50 à 400
Gravier	200 à 500	150 à 500
Schiste cristallin	-	100 à 10.000
Gneiss sain	1000 à 10.000	-
Gneiss altéré sec	300 à 600	-
Gneiss altéré en eau	120 à 200	-
Granites	1000 à 10.000	100 à 50.0000
Calcaire	-	100 à 10.000

Pour bien explorer un sous sol, on réalise deux types d'opérations :

II .3.2. A. profil de résistivité :

Effectué pour la reconnaissance latérale d'un terrain où la profondeur d'investigation sera constante. On déplace le long d'un profil, le même dispositif AMNB (écart invariant) : la profondeur d'investigation reste la même, et on explore une tranche du sous sol d'épaisseur sensiblement constante. On peut donc déceler des hétérogénéités induisant des variations de résistivité (changement de nature ou de faciès de roches, failles, fractures, grottes...etc.).

Richard Lagabrielle (1996), Diagraphies et géophysique de forage

II .3.2. B. sondage électrique :

On effectue en même station, une série de mesures, en augmentant à chaque fois la longueur de la ligne AB qui régit la profondeur d'investigation. Les valeurs de (ρ_a) ainsi obtenues correspondent à des tranches de sol à chaque fois plus épaisses.

II .3.3. La Diagraphie :

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer des résistivités directement dans le trou de forage. Réaliser juste à la fin de la foration, pour permettre de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau, et donc définir la position optimale des crépines.

II .4. Sondages (forages) de reconnaissance

Les sondages de reconnaissances sont des puits de petit diamètre de l'ordre de 6 à 8 cm ; dont leur réalisation et équipement est similaires à ceux des forages d'exploitation. Les sondages (forages) de reconnaissance permettent de vérifier les hypothèses émises et apportent des informations indispensables (investigation, mesures et essais, prélèvement d'échantillons d'eau et de sol, observations périodiques) comme ils permettent d'effectuer des diagraphies et des essais de pompage.

II.5. Conclusion

Pour conclure ce chapitre consacré aux moyens de reconnaissance à mettre en œuvre pour compléter l'étude géologique de surface, nous insisterons sur le fait qu'une campagne de reconnaissance doit toujours être menée avec méthode et précision. Le choix d'un type d'appareil doit se faire en fonction du terrain attendu et surtout de la nature du problème à résoudre. Il est rare qu'une seule méthode donne des résultats escomptés et l'on doit souvent combiner plusieurs observations et/ou plusieurs mesures.

Dans le cas des projets importants, il est nécessaire de conduire la campagne par étapes successives allant de la résolution des problèmes généraux à celles des points particuliers. On réservera toujours les essais ponctuels et coûteux pour la deuxième ou la troisième phase, après que la reconnaissance globale du site et la mise en évidence des principales difficultés auront été effectués.



CHAPITRE III
LES TECHNIQUES DE
FORAGE

III.1.Introduction

Il existe de nombreuses méthodes de forage dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers. Ce chapitre présente les techniques de forages en tant que telles avec leurs avantages et leurs inconvénients relatifs, il précisera aussi les modalités de sélection de ces méthodes selon les critères usuels pour le domaine de l'eau.

III .2. La technique Rotary :

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920. Le technique rotary est utilisé spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs (pétroliers).

Un outil appelé trilame (tricône) est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au dessus de l'outil.

La circulation d'un fluide (liquide visqueux : la boue) permet de remonter les cuttings à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. La boue tapisse les parois non encore tubées et les maintiens momentanément en attendant la pose de tubage.

Un accroissement du volume de boue est l'indice d'une venue de fluide souterrain dans le forage (eau, huile, gaz). Une perte de volume indique une zone fissurée ou dépressionnaire (vide). Le forage en perte de circulation peut être dangereux pour la ligne de sonde et l'ouvrage. Le dépôt de la boue qui recouvre les parois d'une formation aquifère de faible pression peut gêner la détection de cette formation.

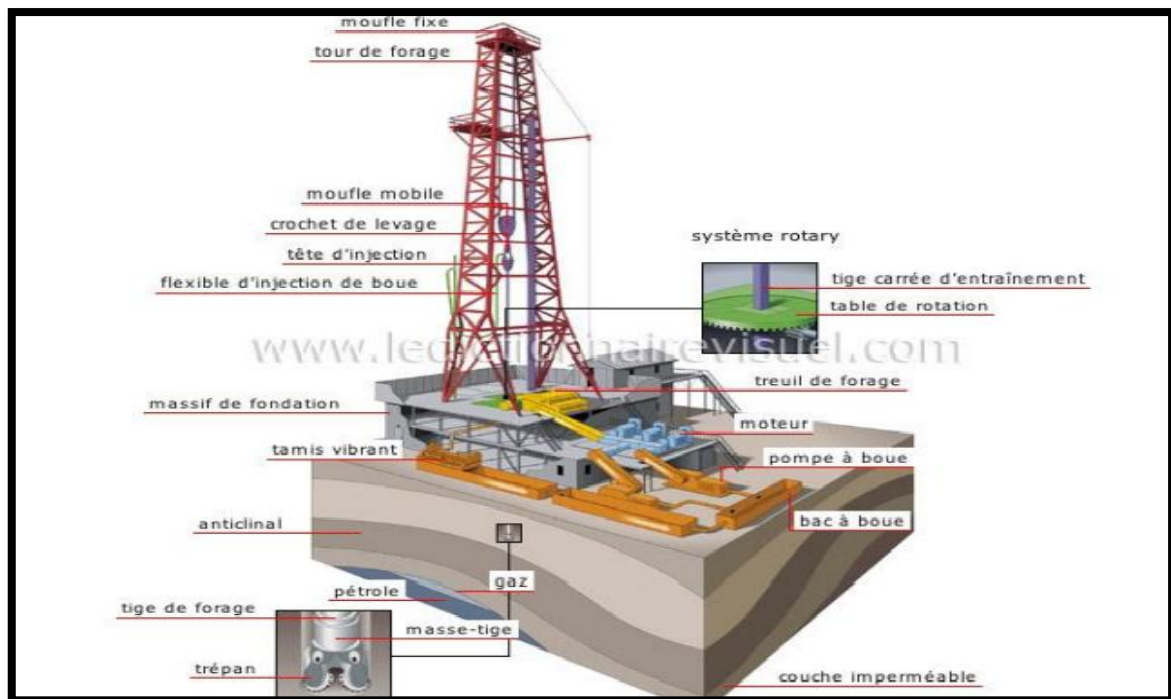


Fig17: Schéma simplifié d'une installation de forage rotary.

III .2.1. Paramètres de forage:

Pour avoir le meilleur rendement d'un atelier de forage rotary, il convient d'être très vigilant sur les trois paramètres suivants :

- ✓ **Le poids sur l'outil** : l'avancement s'accroîtra en fonction du poids sur l'outil (qui s'augmente en s'avançant par le montage au fur et à mesure de tiges), mais on est limité dans cette voie par l'usure rapide des lames et des dents et surtout par détérioration rapide des roulements des outils à molettes. Le contrôle du poids sur l'outil s'opère par le dynamomètre qui mesure la tension du brin (file) mort du câble, il donne le poids de tout ce qui est suspendu au crochet.
- ✓ **La vitesse de rotation** : la plus part des appareils rotary sont munis d'un indicateur donnant la vitesse de rotation de la table (table de rotation). Dans les terrains durs, la vitesse de rotation sera faible ; elle sera plus élevée lorsque les terrains seront tendres. Cette vitesse qui se calcule en fonction de la vitesse des moteurs et le rapport des transmutions, devra être vérifiée par un appareil de contrôle.
- ✓ **Le débit des pompes (à boue, à air)** : la vitesse de remontée des cuttings doit se situer autour de 60 m/min. au minimum. Le choix de la puissance de la pompe et de son moteur sera conditionné par le volume total de boue à mettre en ouvre pour la plus grande profondeur du forage, en tenant compte des pertes de charge, de la viscosité de la boue et de dimensions des tiges.

III .2.2. Avantages

- ❖ Grande profondeur de forage quelque soit la nature du terrain (peu stables ou plastiques), à condition d'utiliser un fluide de forage adapté ;
- ❖ Les parois en terrains meubles sont consolidées par dépôt d'un cake ;
- ❖ Bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) ;
- ❖ Maîtrise de la rectitude du trou ;
- ❖ Rapidité et économie d'exécution de trou de grands diamètres ;
- ❖ Absence de tubage pendant l'opération de forage ;
- ❖ Consommation économique de l'énergie.

III .2.3. Inconvénients

- ❖ Difficulté d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées à cause de l'utilisation d'un fluide de forage ;
- ❖ L'utilisation de certaines boues (bentonite) peut provoquer le colmatage des formations aquifères ;
- ❖ Demande un grand volume d'eau ;
- ❖ Investissement couteux (matériel très importants) ;
- ❖ Pas commode aux sites non accessibles et terrains accidentés.

III.3.Les étapes suivies pour la réalisation d'un forage :

Le forage nous avons suivie on utilise un appareil de forage moyen de marque speed star type ss25 SD, d'une capacité au crochet de 35 tonnes, pouvant forer jusqu'à 400 m de profondeur, équipé d'une pompe à boue DUPLEX, il faut avant toutes choses suivre les étapes suivantes :

III.4.Construction de bassin et de la plate forme :

- Elle est fait par une équipée spécialisée, qui vient en amont des opérations de forage.
- Cette plate forme est construite selon le modèle d'appareil à installer par la suite et selon l'importance de l'ouvrage, car chaque appareil à son modèle de plate forme.
- Des rigoles sont aussi creusées permettant un retour de boue du puits jusqu'au bassin de circulation.

III.5.Installation de la machine :

- La machine tractée par un tracteur est installée sur la plate forme en bien centrale l'axe de la table de rotation sur l'axe de puits.

- Ceci étant fait les vérins de stabilisation (avant et arrière) sont actionnés afin de permettre en premier lieu de libérer le tracteur et par la suite à mettre à niveau la remorque de la machine, par la suite on procède à la levée du mat.

III.6.L'appareil du forage et ces différents organes :

L'appareil de forage est mécanique et doit travailler en forage conventionnel et au fond de trou, utilisant une tête d'injection et une table de rotation, et à fin de pouvoir réaliser des puits d'ondes forés en (17''1/2) et équipés en diamètre (9''5/8) à une profondeur (120ml), des puits de terre forés en (8''1/2) et équipés en (4''1/2) à des profondeurs allant à (160ml), des puits d'eau améliorés, forés en (17''1/2) puis équipés en (9''5/8) à des profondeurs (80ml), et ces différents organes on les sites comme suit :

III.6.1.Le mat :

- Construit en acier carré ou rond, soudé électriquement à l'arc, ayant trois (03) assemblés formant un {U}, ouvert vers l'avant, muni d'une glissière de la tête d'injection.
- Un crow block est monté à son sommet, permettant le moulage en quatre (04) barines de deux (02) moufles.
- La hauteur du mat = 10 à 12 mètres, capacité statique = 34 tonnes.
- Le mat doit être levé et descendu à l'aide de deux (02) vérins télescopiques.

III.6.2.Treuil :

A deux (02) tambours, un pour la Kelly et le deuxième pour le manœuvre, ayant une capacité de levage de 6,800 tonnes avec un seul brin, diamètre de câble = 12 mm doivent être munis de freins à bandes de dimension (6''X22'') et d'embrayages à disques.

III.6.3.Table de rotation :

Passage minimum (8''1/2) rétractable permettant le passage (10'') équipé d'un carré d'entraînement capacité statique = 25 tonnes, quatre (04) vitesses de rotation avant et une arrière, vitesse maximum = 150 tour par minute.

III.6.4.Pompe à boue :

De marque Gardner Denver duplex (5X6) type (FXG) entraînée un embrayage mécanique à disque. Une soupape de sécurité tarée à (1000 psi + manomètre de 00 à 1000 psi).

III.6.5.Kelly :

La tige Carrée de diamètre (3'' 1/2) d'un louangeur de (7.3) avec kelly bushing équipée de raccord d'usure, (2 3/2IF MX) pouvant être stockée dans le mat lors de l'utilisation du moufle + crochet de levage.

III.6.6.Kelly bushing :

Permettant l'entraînement de la kelly à partir de la table de rotation.

III.6.7.Tête d'injection :

A bain d'huile d'une capacité statique = 20 à 25 tonne, équipée avec un cash pipe facilement changeable, diamètre de passage = 2'', pression de service = 30 bar, ayant un axe permettant son glissement lors de forage, tout le long du mat.

III.6.8.Moufle mobile :

A deux (02) poulies, utilisant un câble de 12 mm, capacité statique 20 tonnes.

III.6.9.Crochet de levage :

A deux (02) poulets lui aussi, câble de utilisé de diamètre = 12 mm, capacité statique 20 tonnes.

III.6.10.Prise de mouvement mécanique :

De puissance suffisant.

III.6.11.Boîte à vitesse :

Avant et un arrière, celle-ci pourrait automatique.

III.6.12.Clé de manœuvres :

Sont au nombre de deux (02), une pour le déblocage et une deuxième pour le blocage.

III.6.13.Plancher :

Permettant de travailler en toute sécurité.

III.6.14.Accessoires :

1. Mixeur de boue, sous forme d'un entonnoir, équipé d'une vanne 2'' à papillon, monté sur skid.
2. Flexible 2'' avec raccords, d'une longueur 6 ML, pression service 1500 psi.
3. Manifold de mixage de boue, se raccordant sur la pompe à boue muni de deux (02) vannes 2''.
4. Flexible d'aspiration 4'' longueur = 6ML, avec crépine et clapet anti retour.
5. Arrache sièges à chemises.
6. Clés à outil complète pour la maintenance de la machine.
7. Clés à griffe, 18'', 24'', 36''.
8. Clés à chaîne, 18'', 24'', 36''.
9. Jeu de mâchoires fixes et mobiles pour clés de manœuvres.
10. Manuel d'exploitation, maintenance et catalogues pièces de recharges de la machine en langue française.

III.7. Tube plein :

Le programme de travail est conditionné par le tubage plan, l'idéal serait de pouvoir réaliser un trou de diamètre constant dans lequel on placerait un tube ayant le même section d'un bout à l'autre.

Cependant, nous devons tenir compte, dès le départ, des dimensions de l'ouvrage terminé, et de celle de son tubage définitif constitué, généralement par plusieurs colonnes télescopique.

Ceci nous conduit à forer, en surface, un trou suffisamment "large" pour que les changements successifs de diamètre, à chaque nouveau tubage, aboutissent finalement au diamètre requis pour la colonne dans la zone où sera installée la pompe.

Celles-ci devront être descendues, avec un jeu suffisant, au-dessus de la crépine en ses dimensions d'encombrement, surtout en diamètre, fonction du débit escompté.

III.8. choix des tubages

III.8.1. Le diamètre des tubages

Le choix des diamètres d'une colonne est souvent conditionné par l'encombrement de la pompe, et celui-ci est fonction du débit.

Il est recommandé de laisser un pouce de jeu entre pompe et tubage.

Le diamètre intérieur sera donc, environs, 5 centimètre plus grand que le diamètre extérieur de la pompe.

Le diamètre extérieur sera fonction des contraintes mécanique, comme nous allons le voir.

Compte tenu des dimensions des groupes électriques à moteur immergé, couramment utilisés en forages d'eau, nous avons dressé de choisir les diamètres du tubage à fonction du diamètre.

Tab.09 : les diamètres du tubage on fonction de débit

Débit (m3/h)	Diamètre du tubage (en pouce)
Inférieur à 22	06
De 17 à 40	08
De 35 à 90	10
De 80 à 150	12
De 140 à 200	14
De 190 à 300	16

Tab.10 : diamètre de la avant puits et tube guide

Diamètre de l'avant trou	Diamètre de tube guide
Outil de 24'' = 610 mm	Tube de 20'' = 508 mm
Outil de 22'' = 560 mm	Tube de 18'' 5/8 = 474 mm
Outil de 17'' 1/2 = 445 mm	Tube de 13'' 3/8 = 340 mm
Outil de 17'' 3/8 = 442 mm	
Outil de 12'' 1/4 = 312 mm	Tube de 9'' 5/8 = 340 mm
Outil de 8'' 1/2 = 216 mm	Tube de 6'' 5/8 = 169 mm
Outil de 6'' = 154 mm	Tube de 4'' 1/2 = 114 mm

III.8.2.Résistance mécanique des tubages :

Une colonne peut être exposée :

1. Aux efforts de traction.
2. Aux efforts d'écrasement (pression extérieur centrifuge).
3. Aux efforts d'éclatement (pression intérieur centrifuge).
4. Aux efforts de flambage et de flexion.

III.9.La cimentation :

- Cette opération consiste à remplir, par un mélange à base ciment, tout ou partie de la hauteur de l'espace annulaire entre un tubage et les parois de trou foré.
- Le but à atteindre est de rendre étanche cet espace annulaire et d'empêcher la pollution par les eaux de surface. Des nappes aquifères mises en production.
- Il est aussi, d'ancrer solidement dans le terrain une colonne de soutènement et de la protéger, du même coup, contre les attaques corrosives de certaines eaux.
- Si l'on emploie seulement du ciment et de l'eau, le dosage est d'environ 40 à 50 litres d'eau pour 100 kg de ciment, ce qui donne environ 75 litre de "laitier " de ciment à 1.9 de densité.
- Pour la faciliter le calcul des quantités d'eau et de ciment à employer pour obtenir un certain volume de laitier, on peut utiliser l'abaque.
- Etant donné qu'il faut souvent agir très vite pour les opérations de cimentation, l'usage de ce graphique fera gagner beaucoup de temps sur les chantiers.
- Si, pour réduire le risque de filtration de l'eau hors du ciment au moment du pompage, on ajoute de la bentonite, le dosage à employer est le suivant ; 70 à 75 litres d'eau, 3 à 5 kg de bentonite pour 100 kg de ciment.

- Ce mélange retarde quelque peu le temps de prise d'eau et n'occasionne qu'un faible retrait à la prise.
- Il ne faut employer qu'une eau très pure.
- Le temps pendant lequel on peut manipuler à la pompe le lait de ciment constitué varie avec le type de ciment employé.
- Le ciment courant employé en construction, peut être pompé pendant près de deux (02) heures seulement.
- Le ciment rapide n'est pratiquement pas employé, on ne peut plus pomper après 40 minutes.
- La préparation du mélange s'effectue avec un mixer il est bon d'y adjoindre les accessoires.

III.9.1. Calcule le volume de laitier de ciment :

On applique la formule suivante :

$$V_c = \frac{\pi}{4} \times K_1 [(KD^2 - d^2)^H + d^2 h]$$

Avec :

- V_c : le volume de laitier de ciment (m³)
- D : le diamètre de puits (m).
- d : le diamètre de tubage (m).
- H : la hauteur de tubage (m).
- h : la hauteur du bouchon de ciment (m).
- K_1 : coefficient de perte de ciment (1.2 – 1.25).
- K : coefficient de la variation de diamètre (1 – 1.05).

III.9.2. Calcule la quantité de ciment :

- P_c : la quantité de ciment
- M_v : masse volumique de ciment (**1.176 ton/m³**)
- V_c : le volume de laitier de ciment

$$P_c = V_c \times M_v(\text{ton})$$

III.9.3. Calcule le volume d'eau :

Pour obtenir un laitier de ciment de 1.9, il ne faut 100 kg de ciment et 40 litre d'eau.

100 kg → 40 litre

PC → V_e

$$V_e = \frac{PC \times 40}{100}$$

V_e : le volume d'eau (m³)

III.10. Les outils de forage :

III.10.1. Outils à lames

Trois types :

- ⇒ Queue de poisson (fishtail) – deux lames. (a)
- ⇒ Trois ailes (three wings). (b)
- ⇒ Pilote – plusieurs étages de diamètre différent. (c)

Ces outils travaillent, en rotation, comme une fraise dans un métal, ils des «copeaux »

Dan le terrain. Ils sont employés dans les formations sédimentaires compactes, à structure fine et de dureté peu élevée.

Malgré les avancements intéressant qu'ils procurent, leur cour peu élevé, la possibilité de reforger et affuter les tranchants qu'ils sont les seuls à offrir, bien des foreurs n'aiment pas les employés. Sans doute est-ce parce que ces ne conviennent pas dans tous les terrains, tandis que les outils à molettes sont universel, et qu'il vaut mieux en avoir, au bout de sa ligne de sonde, au moment, précisément, où se présente un changement de terrain.

Une autre raison est qu'ils provoquent des vibrations importantes que se répercutent jusqu'à la machine.

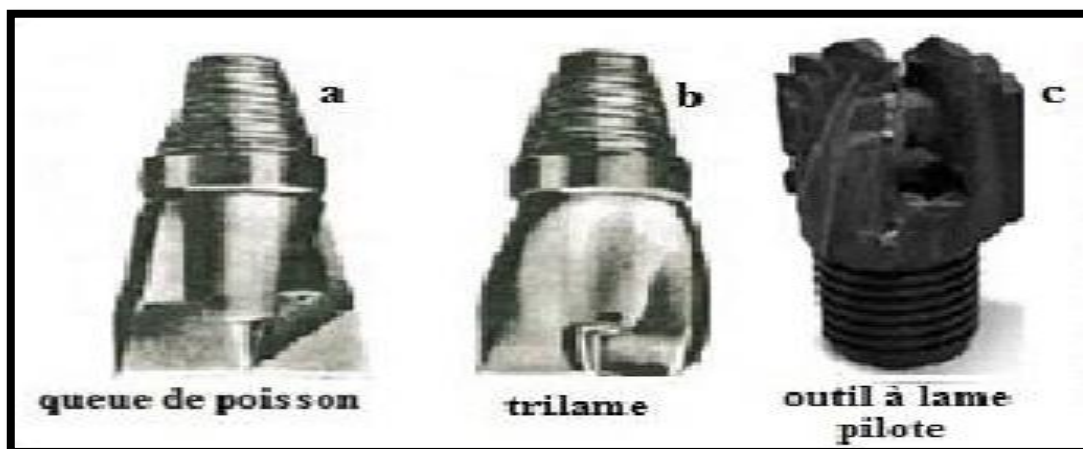


Fig.18 : les outils à lames

III.10.2. Outil à molettes (rockbits)

Tricônes ou quadricônes

Trois ou quatre molettes à axe horizontal ou légèrement incliné, montée sur de solides roulements à billes ou à galets.

Ces outils sont munis comme les outils à lames d'une partie fileté sur cône qui assure un montage très rapide et après blocage à la clef, un jointe rigoureusement étanche.

La denture des molettes varie selon la nature du terrain.les dents sont longues et écrêtes pour les terrains tendres, elles sont courtes, fines et rapprochées pour les terrains durs.

Ces outils procèdent par écrasement et éclatement de la roche. Des événements calibrés (dusses) ajoutent à l'efficacité des molettes en désagrégeant le terrain sous de puissants jets.

Les outils à molettes sont rapidement mis hors d'usage, rares sont les entrepreneurs qui rechargent les dents usées et, le plus souvent, ces outils périssent par leur roulements. Dès qu'ils ont pris un peu de jeu, il serait dangereux de les redescendre dans le trou, car ils ne tarderaient pas à laisser au fond leurs molettes et leurs roulements qu'on aurait bien du mal à « repêcher ».



Fig.19 : les outils à molettes

III.11.Conclusion

Il y a beaucoup méthode donne le forage chaque méthode avois des conséquences et avantage. Contrôle de la sélection de la méthode plusieurs factures (pondeur argent.....etc.) Mais le forage rotary inclus tout le facteur pour ça le forage rotary ci la méthode le plus largement utilise dons le monde.



CHAPITRE IV
FLUIDES DE FORAGE
(BOUE DE FORAGE)

IV.1.Introduction

Différentes techniques sont utilisées pour creuser les puits: forage percussion, forage rotary, forage à augets et construction manuelle. Dans le domaine pétrolier, au cours d'une foration au rotary, un fluide est utilisé pour remonter les cuttings, refroidir et lubrifier l'outil de forage, et soutenir les parois du trou par pression hydrostatique pour éviter les éboulements. Ce fluide est appelé 'fluides ou boues de forage'. Ce chapitre discute les différents fondamentaux des fluides de forage et leurs performances dans l'assurance de la réalisation d'un forage efficace

IV .2. Les fluides de forage

Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, ...) etc.

IV .3. Rôles des fluides de forage :

Les principaux rôles de fluides de forage sont :

- ✓ la consolidation et le soutènement des parois de forage par le dépôt de cake sur les parois.
- ✓ la remontée au jour des sédiments broyés (cuttings)
- ✓ le maintien des cuttings en suspension (très important dans le cas où il se produit un arrêt de circulation).
- ✓ le refroidissement des outils de forage et de carottage, ainsi que leur lubrification (graissage) et leur nettoyage pour éviter leur usure.
- ✓ l'augmentation (par le jet) de l'action abrasive de l'outil de forage sur le terrain ((car le fluide sorte des trous du trépan à forte pression).
- ✓ la facilité et le contrôle des opérations de mise en place du gravie et de cimentation.
- ✓ le renseignement sur la nature du terrain de couvert et sur son potentiel aquifère.
- ✓ l'équilibrage des pressions hydrostatiques des couches aquifères afin de juguler (égorger) les jaillissements des forages artésiens, car un brusque jaillissement d'eau peut détériorer le forage.
- ✓ la protection contre le gonflement ou l'affouillement (creusage) de certaines couches traversées.

www.ifpenergiesnouvelles.fr/espace-decouverte/les-cles-pour-comprendre/lessources-d-energie/le-petrole

IV .4. La boue**IV .4.1. Caractéristiques de la boue de forage****IV .4.1.1. Caractéristiques physico- chimiques –densité- :**

Une boue dense favorise l'ascension des cuttings et permet l'équilibre des pressions hydrostatiques. Pour une boue à densité élevée, il y a risque de détachement des parois (de la boue), et de retombée dans le trou de forage provoquant le coincement de l'outil.

IV.4.1.2. Caractéristiques rhéologiques :

- a) **viscosité** : une viscosité élevée provoque des difficultés pour le pompage de la boue, alors qu'une boue à viscosité moins élevée perd sa propriété pour consolider les parois. Une boue possédant une viscosité correcte permet : d'avoir un outil bien dégagé, une bonne remontée des cuttings, réduire les pertes de charge dans le train de sonde et le dépôt plus rapide des cuttings dans les fosses de décantation.
- b) **filtrat** : c'est la propriété de laisser filtrer de l'eau au travers des parois.
- c) **cake** : c'est la propriété de laisser déposer une couche d'argile sur la paroi. Il joue le rôle inverse de filtrat.

Le cake ne se forme pas sur une paroi non perméable. La pénétration importante de filtrat, dans certains terrains, peut accélérer un phénomène de délitage entraînant des éboulements ou des gonflements.

- d) **thiscotropie** : c'est la propriété d'une boue de passer d'une consistance rigide à un aspect fluide sous l'effet de brassage (agitation).
- e) « **yield value** » : c'est la tension limite de cisaillement au dessus de la quelle le fluide ne s'écoule pas.
- f) **teneur en sable** : provenant du terrain de forage, le sable est dangereux par son action abrasive dans tout le circuit où il circule (spécialement pour les pompes à boue), et il alourdit la densité de la boue. On recommande de ne pas dépasser une teneur maximale de 5%.
- g) **pH** : le pH permet d'indiquer l'acidité ou l'alcalinité de la boue. Une boue dont le $\text{pH} < 7$ provoque un risque de floculation, alors qu'une boue dont le $\text{pH} > 10$ indique sa contamination par le ciment ou par l'eau de l'aquifère.

IV.4.1.3. Problème de contamination :

Les caractéristiques idéales d'une boue neuve sont :

- ✓ viscosité = 40 à 45 secondes mesurée par le viscosimètre (entonnoir) de MARSCH.
- ✓ filtrat = 8 cm³.
- ✓ pH = 7 à 9
- ✓ teneur en sable = 0,5%.

Au cours de forage, la boue se charge de plus en plus des argiles et des éléments fins. La boue contaminée serait rapidement inutilisable. Si on la laisse en circuit, elle forme une masse compacte au fond bloquant complètement l'outil.

La présence des éléments fins de dimensions inférieures à 70 µm provoque la coagulation de la boue (transformation de la substance organique liquide en une masse plus ou moins solide), ce qui provoque l'augmentation de sa viscosité.

La présence de certains sels de terrains (gypse) favorise la floculation de la boue (formation de flocs). Il est à noter que les réactions gouvernant les suspensions colloïdales (systèmes où les particules très petites sont en suspension dans un fluide): sont des réactions d'équilibre (irréversibles), ce qui explique qu'une boue contaminée change complètement d'aspect.

IV .4.2. Les différents types de boue :**IV. 4.2.1. Boue à la bentonite :**

La bentonite c'est une variété d'argile très fine : la dimension des particules est inférieure à 1 µm et de densité de 2,6.

A l'hydratation ; le volume devient 12 à 15 fois et parfois 30 fois plus grand.

Un gramme de bentonite dispersé dans l'eau offre 4 à 5 m² de surface de contact.

On ajoute parfois à la boue de bentonite des additifs pour la rendre compatible avec : le terrain, ou avec la pression de la nappe ; ou pour redonner à la boue ses propriétés initiales.

On distingue deux catégories de bentonite : les bentonites calciques naturelles et les bentonites sodiques naturelles qui sont les plus utilisées pour les boues de forage.

Une bentonite peut se définir par :

- ✓ ses limites de liquidité
- ✓ ses limites de plasticité
- ✓ et son indice de plasticité constituant les limites d'Atterberg.

Tab. 11 : Caractéristique de boue

Caractéristique	Appareils de mesure	Conséquences et interprétations	remèdes
Densité (moyenne de 1,2)	Balance BAROID	Trop forte : -risque de perte de boue. -cake trop épais. Trop faible : -cake trop mince -risque de dégradation des parois -éboulement et éruption si artisanisme.	Dilution par l'eau en Contrôlant les autres caractéristiques. Brasser énergiquement.
Viscosité (moyenne de 40 à 45 secondes MARSCH)	Viscosimètre MARSCH, Viscosimètre STORMER	Trop forte : -difficulté de pompage -risque de coincement pendant les arrêts de circulation. Trop faible : -risque de perte de boue et de coincement par séparation des éléments constitutifs de la boue.	Emploi de pyrophosphate, de tanins, de lignites, de ligno-sulfates
Filtrat 5 à 10 cm ³ Cake 5 mm maximum	Filtre- presse BAROID	Trop grand = cake trop mince -risque d'éboulement et de perte de boue Trop faible = cake trop épais -risque d'aveuglement des venues d'eau	Ajouter Amidon, fécule ou CMC. Mixer, brasser.
Teneur en sable	Tamis BAROID	Risque d'usure des pompes à boue.	Employer les dessableurs à cyclones.
pH 7 à 9,5	Papiers colorimétriques	pH>11:contamination par le ciment ou par l'eau de la formation pH<7 : excès d'acidité, risque de floculation	Employer les polyphosphates acides si pH>11 Ou neutre si pH<7

IV. 4.3. Boue à l'huile émulsionnée :

Dans les terrains ayant la propriété, en s'hydratant, d'augmenter considérablement de volume, à tel point que l'outil risque de se bloquer au fond du trou, ce qui peut occasionner de grosses pertes de temps pour tenter de le dégager par des instrumentations délicates. Dans ce cas, il est conseillé d'ajouter à la boue du silicate de soude ou de la chaux ou de l'amidon dont ces matières ayant également la propriété de réduire l'hydratation. Autrement, l'emploi de la boue à l'huile qui est également indiqué. Il s'agit d'émulsion soit d'eau dans l'huile ou d'huile dans l'eau suivant les pourcentages relatifs. On obtient en ajoutant à la boue classique (eau plus bentonite) de 5 à 25 % de gasoil et un émulsifiant organique.

Cette boue lubrifie et protège toute les parties métalliques. Elle provoque une sensible amélioration de l'avancement et un allongement de la durée de vie des outils de forage. Elle est caractérisée par des filtrats plus faibles et moins pénétrants dans les couches aquifères, ce qui est important pour la détection et l'exploitation des nappes à faible pression (risque de pollution de la nappe). Le forage des terrains gypseux ou salés, de l'anhydrite ou des argiles gonflantes s'effectue plus efficacement avec ce type de boues.

IV.5. Air comprimé :

L'emploi de l'air comprimé comme fluide de forage procure les avantages suivants :

- ✓ Plus grande vitesse de pénétration dans la roche dure et consolidée.
- ✓ Réduction du poids sur l'outil.
- ✓ Grande capacité de dégagement des cuttings.
- ✓ Facilite le forage dans les formations gonflantes.
- ✓ Faibles besoins d'eau.

IV .6. Moyenne d'injecter la boue de forage :

Nous avons utilisé la formule suivante pour déterminer le débit injecter de la boue de forage :

Avec

- Q : débit d'injecter la boue (galon/minute).
- D : diamètre de l'outil de forage.
- 1 galon américaine = 3,785 litre.

$$Q = 5 D^2$$

IV .7. Circuits de fluides de forage :

La circulation de fluides dans le forage s’opère en deux modes :

IV .7.1. Circulation normale :

Dans le circuit normal le fluide se refoule dans le train de tiges à partir de la pompe à boue (à partir de compresseur s’il s’agit de l’air comprimé), circulant de haut en bas pour sortir au fond du forage à travers les trous de l’outil de forage (trépan),se mélange avec le cuttings, puis le mélange fluide- cuttings remonte, dans l’espace annulaire (espace entre les parois de forage et les parois de tubings) pour rejoindre la fosse à boue où s’effectue l’échantillonnage, l’analyse, le traitement, l’ajustement et la décantation ; puis de nouveau il sera aspiré par la pompe à boue pour qu’il sera refoulé vers le train de tiges, et ainsi de suite

IV .7.2. Circulation inverse :

Dans la circulation inverse, le fluide se refoule dans l’espace annulaire, et le mélange fluide cuttings remonte dans le train de tige en entrant par les trous se trouvant au fond du trépan.

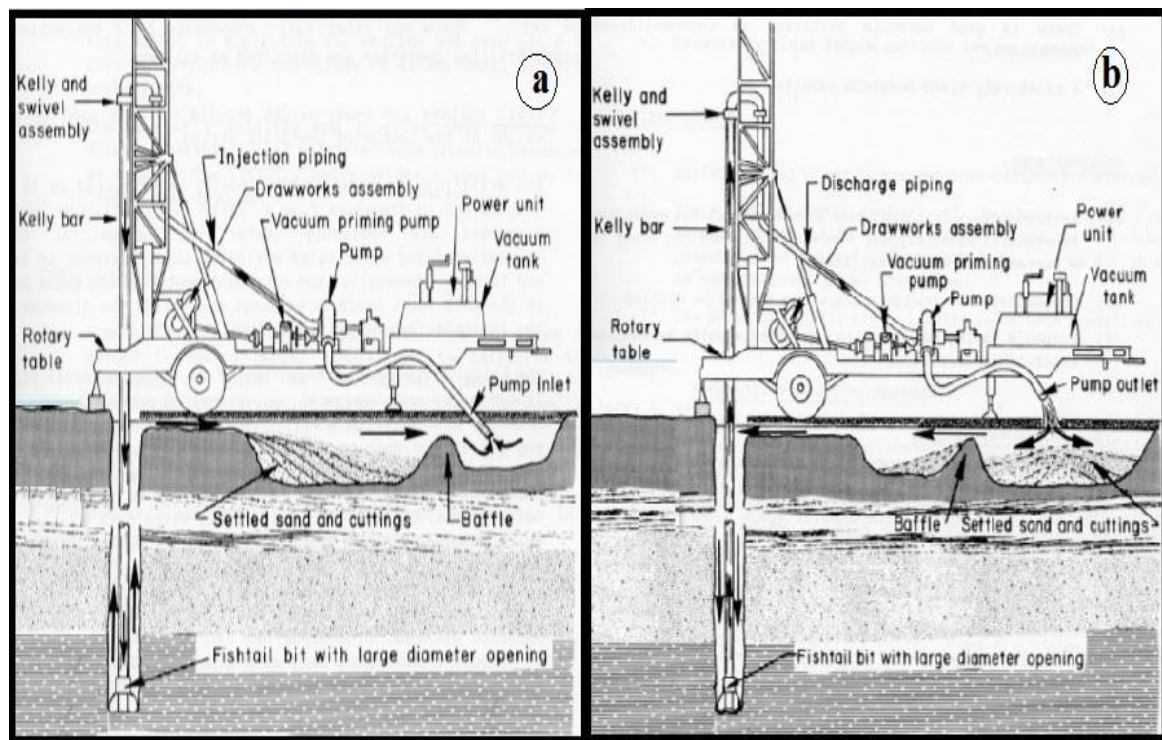


Fig.20: Circuit de la boue dans le forage : a. circulation normale, b. circulation inverse.

IV .8. Recommandations pour l'utilisation des fluides de forage :

- ✚ en présence de nitrates dans l'eau de la nappe ; les boues bentonitiques peuvent réagir et flocculer.
- ✚ certains boues peuvent être dopées avec des composants pouvant polluer la nappe.
- ✚ les boues polymères conviennent parfaitement pour la réalisation des forages profonds de recherche pétrolière, car, les nappes supérieures sont rapidement isolées par tubages ; alors que pour le foreur d'eau, a pour mission de détecter ces nappes.
- ✚ Afin de protéger les nappes, une série d'essais sur ces boues et mousses devrait être prévue dont les résultats permettrait de rédiger une réglementation concernant la qualité et l'emploi des produits entrant dans la composition de ces boues.

IV .9. Conclusion

La formulation des fluides de forage ainsi que la nouvelle technologie relative aux outils utilisés ont beaucoup évolué afin d'apporter de meilleures solutions aux problèmes soulevés et assurer une amélioration continue des opérations de forage.

Plusieurs travaux ont montré, qu'au cours du forage, la stabilité des parois du puits est intimement liée à plusieurs phénomènes incluant les interactions fluides-roches, l'aspect mécanique des roches, le comportement anormal des formations géologiques traversées ainsi que certaines pratiques inappropriées lors de forage



CHAPITRE V
ESSAI DE NAPPE ET
POMPAGE

V.1.Introduction

La consommation croissante de l'eau nous pose de sérieux problèmes. Donc, l'exploitation rationnelle des eaux souterraine, implique une connaissance de plus en plus précise des réservoirs aquifères, et donc de leurs caractéristiques hydrodynamiques (K, T, S). La détermination de ces paramètres est basée sur la connaissance des lois de l'hydraulique souterraine ou des puits.

V.2.Essai de nappe :

Les essais dans les forages ont on générale pour but de rechercher les caractéristique de l'eau contenue dans les terrains traversés (débit, chimisme, température...).

V.3.Recommandation :

Qu'il soit exécuté avec une colonne de tubage provisoire, équipé d'une toupie et d'une jupe en jute ou à laide d'une colonne de petit diamètre, équipé à la base d'un « pacher », l'essai d'une nappe exige en général de la part de l'opérateur.

V.4.Tenues des parois du forage :

Le fait de descendre une colonne dans un trou entraine automatique des risques d'éboulement et de coincement. Aussi est-il recommandé de n'entreprendre une telle opération que lorsque l'on est sur de la bonne tenue des parois du trou.

Cette assurance ne peut être obtenue qu'avec l'utilisation d'une bonne boue.

La boue à l'argile ordinaire on naturelle, est à déconseiller. En effet, cette boue qui permet d'effectuer des forages moyennement profonds, n'assure aucune sécurité pour les essais de nappe et certaines difficultés sont souvent rentrées au moment du retrait de la colonne d'essai.

Pour cela, il est indispensable d'utiliser une boue améliorée par l'apport de bentonite ou même une boue à base uniquement de bentonite.

V.5.Mise à l'eau claire :

La colonne d'essai étant posée comme prévue, la mise à l'eau claire doit se faire progressivement, afin d'éviter une trop brusque diminution de la pression sur les parois du trou.

Pour cela, il faut d'abord mettre à l'eau claire la moitié supérieure du tubage, puis la seconde moitié, avant de pénétrer dans le trou non tubé pour laver devant l'aquifère. A la sortie du tubage, l'eau doit être canalisée et dirigée de façon à ne pas s'écouler dans l'espace annulaire derrière le tubage.

Au cours de ce lavage à l'eau claire, le foreur doit surveiller étroitement le niveau de boue dans l'espace annulaire derrière le tubage. Ce niveau ne doit pas bouger pour éviter de mettre en danger la colonne d'essai. En principe, on le maintient au niveau du sol.

V.6.Essai :

- a) Laver à l'eau claire, si possible devant la formation, en utilisant l'échéant, des jets latéraux qui détruisent plus facilement le cake.
- b) Dans des formations meubles (ébouleuses), pompe à faible débit (02 à 04 l/s maximum) pour éviter les pochages importants, dans des formations compétentes, pomper à un débit plus important.

Comme précédemment, pendant le pompage, le niveau de boue derrière le tubage ne doit pas bouger (pour éviter les éboulements et les coincements).

À la cour de l'essai, toutes les observations (mesures de niveaux, débit, etc.) doivent être faites régulièrement et sérieusement.

Le temps de pompage peut varier selon les conditions de l'essai, le comportement de l'ouvrage ou de la nappe elle-même.

En générale, faut respecter trois (03) points principaux :

- 1) Obtenir une certaine stabilisation du niveau pendant le pompage.
- 2) A voir extrait du trou, un volume minimum d'eau, supérieur au volume représenté par les pertes de boue éventuelles et deux fois au moins le volume du trou, de façon à être assuré d'avoir un échantillon vrai de la nappe.

Suivant les cas et si l'équipement le permet, mesure les variations chimiques de l'eau avec un résistivimètre. Prolonger l'essai jusqu'à stabilisation de la qualité de l'eau.

3) Pomper de l'eau claire sans particules solides.

Après arrêt du pompage, l'observation de la remontée peut demander plusieurs heures. Il faut éviter de laisser la colonne d'essai plus de 36 heures dans le forage.

Pour chaque horizon aquifère (niveaux inférieurs), il faut procéder de la même manière en s'attachant à respecter la qualité de l'étanchéité qui est la condition essentielle pour un essai valable. L'horizon supérieurs étudiés doivent être parfaitement isolés.

V.7. Mise à l'eau développement :

V.7. a. Lavage :

Après équipement et coulage du volume maximal de gravier, mise à l'eau claire du forage.

A cet effet, ne suffit pas seulement d'injecter de l'eau claire par les tiges pour chasser la boue hors du forage, il est recommandé d'équiper les tiges d'un système très facile à fabriquer sur le chantier et qui dirige les jets d'eau à la sortie, latéralement, c'est à dire vers les ouvertures des crépines.

Utilisation d'une tige de forage usagée, au bout de laquelle est soudé un élément de tube d'un diamètre inférieur à celui des tiges, fermé à la base et percé sur les côtés de petits trous (fentes) d'un diamètre de (03 à 10 mm).

Provoquer une lente rotation des tiges tout en assurant un mouvement vertical de va et vient en face de crépines.

Ainsi, l'eau injectée sous pression (20 à 70 kg/cm²) et même plus (selon puissance de la pompe) provoque une certaine turbulence qui chasse les éléments ou l'argile déposés autour des crépines et déplace même l'élément fins (sable) qui peuvent se trouver aux abords extérieurs immédiats de la crépine, assurant ainsi une meilleure homogénéité du massif de gravier.

En remontant l'eau entraîne une grande partie des sédiments fins, les éléments les plus gros qui vont au fond du tube décanteur, peuvent être récupérés soit par soupape (soupape à piston), soit par émulsion à l'air comprimé.

Cette opération est considérée comme le début du développement. Elle assure en effet, selon l'ouverture des crépines, et la puissance du jet d'eau, une première sélection des grains du massif filtrant. Certains foreurs se contentent de ce seul procédé pour développer leurs forages.

V.7.b. Développement :

Le développement d'un forage comprend toutes l'opération qui tendent à retirer de la formation les éléments les plus fins et ainsi à nettoyer en élargissant ou en ouvrant les passages d'eau afin de la faire pénétrer plus librement dans l'ouvrage.

Le développement est une opération réservée aux forages dans les roches meubles pour lesquels il procure les capacités maximums et il en découle trois (03 heureux) résultats :

- Il corrige toute perturbation ou colmatage qui auraient pu être provoqués dans la formation durant le forage.
- Il augmente la porosité et la perméabilité de la formation au voisinage du forage donc (augmente le débit de l'ouvrage).
- Il stabilise la formation sableuse autour de la crépine de telle sorte que le forage débite une eau limpide (exemple de matière en suspension).

Pour diminuer le pourcentage des particules fines, on met en place du gravier filtre calibré. De cette manière, on enveloppe la crépine d'une gaine filtrante naturelle, dont la finesse des constituants augmente régulièrement vers la périphérie.

Les grains de sable sont en effet d'autant plus difficiles à déplacer qu'ils se trouvent plus éloignés de sa paroi.

Il se produit une diminution centrifuge (des crépines vers le terrain) du diamètre des grains qui crée un excellent filtre à sable, les grains les plus fins étant maintenus éloignés des grands pores existant entre les éléments grossiers.

Il en résulte un accroissement régulier du diamètre des canicules depuis le terrain naturel jusqu'aux orifices de la crépine, qui diminue les pertes de charge, permet une accélération progressive des filets d'eau et s'avère en définitif très favorable au drainage

même des terrains peu perméables à granulométrie fine. Pour opérer un bon développement trois choses sont nécessaires :

- Les ouvertures de la crépine doivent être en forme de {V} (crépine Johnson), pour faciliter le passage des éléments fins sans qu'ils s'agglutinent.
- Un mouvement d'agitation capable d'entraîner dans la crépine les éléments fins.
- Ces éléments ainsi introduits dans le forage doivent être extraits par cuillérée ou tout autre procédé convenable.

V.8.II existe différents procédés de développement :

- Développement par pompage et sur pompage.
- Développement par air comprimé (air lift) = Agitation pneumatique.
- Développement par pitonnages = agitation mécanique.
- Lavage aux jets à grande vitesse.

Si l'essai de pompage est effectué dans un nouveau forage peu après que celui-ci a été creusé, le développement pneumatique peut être une source d'informations utiles.

Le développement pneumatique consiste à pomper de l'air comprimé dans un forage par une conduite d'air sous haute pression, qui se trouve parfois dans un tuyau de décharge, qui joue le rôle de colonne de refoulement. L'air comprimé est injecté bien en dessous du niveau de l'eau, et si c'est fait correctement, il fait sortir l'eau du forage et sert de moyen de pompage grossier. Le développement pneumatique est une opération de routine régulièrement effectuée lors d'un nouveau forage, et il sert essentiellement à nettoyer et à « développer » le forage. En deux mots, développer un forage consiste à pomper avec force pour éliminer tous les déblais de forage, la boue et les sédiments en suspension, afin de clarifier l'eau. Le développement pneumatique se fait normalement lorsque la foreuse est encore en place au-dessus du forage, mais il peut aussi se faire de manière indépendante en utilisant un compresseur d'air portable.

Même s'il ne remplace pas l'essai de pompage, le développement pneumatique peut fournir des informations utiles sur le rendement d'un forage, et peut aider à choisir le débit qui devrait être utilisé pour l'essai de pompage. Demandez aux foreurs de mesurer le débit lors du développement pneumatique. Le processus de foration peut aussi fournir des informations hydrogéologiques utiles, telles que :

- **découvertes d'eau** : la profondeur à laquelle de l'eau a été trouvée pour la première fois, et les profondeurs de foration auxquelles des entrées d'eau significatives ont été constatées, peuvent indiquer la profondeur et le rendement de fissures et fractures individuelles et aider à déterminer le positionnement du tubage et de la crépine.
- **Vitesse de foration** : la progression quotidienne du forage peut renseigner sur la dureté des couches de roche traversées, donnant une idée des différences entre les couches et des chances relatives de trouver de l'eau.
- **Charge à différentes profondeurs** : le niveau d'eau statique mesuré dans le forage au cours de la foration peut donner des indications sur la présence de gradients hydrauliques verticaux.

V.9.Essai de pompage :

Les tests de l'ouvrage et tests de la nappe sont un perméable nécessaire à la garantie d'une bonne exploitation de l'ouvrage.

a. Test de l'ouvrage :

Les tests des ouvrages renseignent sur les caractéristiques des forages et ne préjugent en rien de ce que peut fournir la nappe de façon pérenne. Ils consistent en (03 à 05) pompages à débits croissant mais de durée constante (01 à 02 heures), espacés d'un temps d'arrêt (remontée) au moins équivalent permettant à la nappe de retrouver son niveau d'équilibre initial. Ces essais conduisent à la détermination du débit maximal d'exploitation (débit critique) sans risque d'apparition de pertes de charges anormales pouvant provoquer des dégradations de l'ouvrage.

Ce débit critique doit être absolument respecté, sous peine de détérioration de l'ouvrage.

b. Test de la nappe :

Le critère « débit d'exploitation journalier maximal exploité au moins une fois dans l'année » sera retenu pour déterminer la durée de l'essai de la nappe. Pour une meilleure interprétation il est préférable d'effectuer les tests en période de décharge de nappe.

- Pour les débits journaliers $\leq 20 \text{ m}^3/\text{j} = 0,23 \text{ l/s}$. le test de la nappe se fera obligatoirement à débit constant sur une durée de 12 heures.
- Pour les débits journaliers $> 20 \text{ m}^3/\text{j}$ et $\leq 150 \text{ m}^3/\text{j} = 1,74 \text{ l/s}$. le test de pompage de fera obligatoirement à débit constant sur une durée de (24 à 72 heures).

Le débit de l'essai sera inférieur au débit critique déterminé dans lors du test de l'ouvrage. Le niveau de l'eau sera mesuré simultanément pour une durée de temps écoulé depuis le début de l'essai, dans le forage lui-même et dans la mesure du possible dans au moins un piézomètre proche.

Pour les débits journaliers supérieur au moins une fois dans l'année à $150 \text{ m}^3/\text{j} = 1,74 \text{ l/s}$. le test de la nappe se fera obligatoirement à débit constant sur une durée de 06 à 08 semaine.

Cette durée ayant comme finalité l'observation de l'effet des limites étanches encadrant la zone sollicitée par le pompage. Si celles-ci apparaissent rapidement, il ne sera pas nécessaire de prolonger l'essai. Par contre, l'observation d'une diminution des rabattements en fonction du temps ne pourra entrainer l'arrêt de cet essai avant les 03 semaines de pompage.

Le test de pompage permet de déterminer les caractéristiques de la nappe :

- Transmissivité.
- Coefficient d'emmagasinement.
- Perméabilité (les limites de l'aquifère).

Ces paramètres permettent d'appréhender :

- La zone d'influence du pompage pour le débit testé et des extrapolations pour d'autres conditions d'exploitation.
- Les possibilités de réalimentation de la nappe
- Par conséquent, les ressources renouvelables pouvant alimenter le forage.

V.10.Principaux types d'essais de pompage

Il existe de nombreux types d'essais parmi lesquels il faut choisir. Les essais les mieux adaptés aux situations dans lesquelles travaillent les ingénieurs, sont les suivants :

V.10.1.Essai par paliers : conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et le rabattement du forage testé. Il consiste à effectuer des pompages dans le forage, avec une série de paliers à débit différent, le débit augmentant habituellement à chaque palier. Le dernier palier devrait se rapprocher du rendement maximal estimé pour le forage.

- ✓ commencer par un débit de pompage faible, et l'augmenter à chaque palier, sans débrancher la pompe entre les paliers.
- ✓ Prévoir quatre à cinq paliers au total, les débits de pompage progressant par échelons plus ou moins réguliers entre le minimum et le maximum.
- ✓ Tous les paliers devraient avoir la même durée, la plus courante étant de 60 à 120 minutes.
- ✓ Le débit du dernier palier devrait être égal ou supérieur au débit d'exploitation prévu lorsque le forage fonctionnera à pleine capacité. Cela n'est possible, bien sûr, que si la pompe utilisée pour l'essai peut fournir un tel débit.

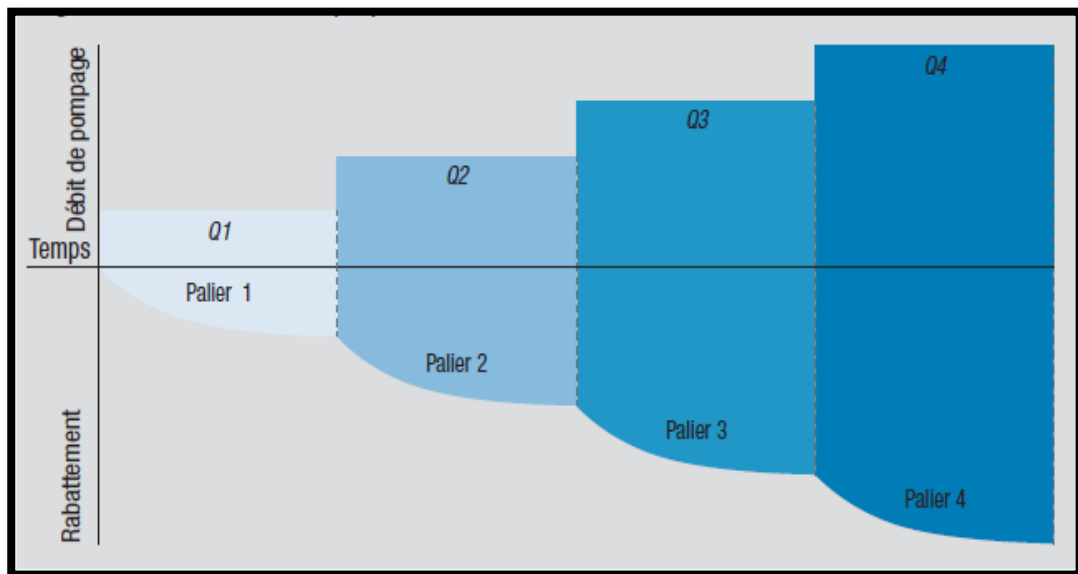


Fig.21 : Essai pompage par palier

V.10.2.Essai à débit constant : effectué en pompant à un débit constant beaucoup plus longtemps que dans l'essai par paliers, il est conçu avant tout pour fournir des informations sur les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère. Il n'est possible de déduire des informations relatives au coefficient d'emménagement de l'aquifère que si les données proviennent de forages d'observation appropriés.

V.10.3.Essai de remontée : consiste à observer la remontée des niveaux d'eau après l'arrêt du pompage à la fin d'un essai à débit constant (et parfois après un essai par paliers). Il est utile pour vérifier les caractéristiques de l'aquifère déduites des autres essais, mais n'est

valide que si une valve anti-retour (clapet de pied) est placée sur la colonne de refoulement, sinon l'eau est refoulée dans le forage.

Tab.12 : type d'essai et paramètre d'essai pompage

Type d'essai	Paramètres tirés des essais (en utilisant des méthodes d'analyse simples)	Durée totale habituelle de l'essai	Limites de l'essai
Essai par paliers	Rabattement spécifique. Capacité spécifique Évaluation qualitative de la performance du forage (rendement rabattement). Débit de pompage pour essai à débit constant.	1 jour	Il faut pouvoir changer le débit de pompage. Pas optimal pour prédire le comportement à long terme de l'aquifère.
Essai à débit constant	Transmissivité de l'aquifère. Coefficient d'emmagasinement, si forage d'observation disponible. Évaluation qualitative de la capacité à maintenir le rendement prévu.	De 1 ou 2 jours à 1 ou 2 semaines	Difficile de garder un débit de pompage constant. Les paramètres de l'aquifère peuvent varier entre la saison des pluies et la saison sèche. Nécessite un bon système d'évacuation.
Essai de remontée	Transmissivité de l'aquifère. Évaluation qualitative des pertes de charge dans le puits (liées à l'efficacité du forage).	Plusieurs heures à plusieurs jours	Un clapet de pied doit être fixé à la colonne de refoulement. La pompe ne peut pas être enlevée pendant l'essai.

V.11.Préparatifs de l'essai de pompage

Certains préparatifs sont indispensables à tout essai de pompage. Il s'agit notamment de rassembler des informations sur le forage ou le puits qui sera testé. Les fruits de ce travail de préparation peuvent influencer le choix de l'essai et permettront certainement d'obtenir des résultats d'une plus grande utilité.

V.12.Équipement d'observation de base

Les deux paramètres qui doivent être mesurés lors de tout essai de pompage sont le niveau d'eau dans le forage et le débit d'extraction de l'eau (par pompage ou puisage). L'équipement de base nécessaire pour observer ces deux paramètres est le suivant :

V.13.Observation du niveau d'eau

L'appareil manuel de contrôle du niveau d'eau appelé communément « sonde piézométrique » est le moyen le plus pratique, robuste et accessible d'observer les niveaux d'eau dans les forages et les puits. La sonde piézométrique est descendu dans le forage, et lorsqu'elle atteint la surface de l'eau, un circuit électrique est activé et émet un « bip ». Le niveau d'eau peut alors être lu sur un ruban gradué, en général avec une précision d'un centimètre



Fig.22 : sonde piézométrique

V.14.Observation des débits de pompage

Il existe de nombreuses façons de mesurer les débits de pompage, dont les plus communes, ou celles qui auront certainement la plus grande utilité pour les ingénieurs, sont les suivantes :

- **Seau et chronomètre** : pour mesurer des débits de pompage relativement faibles, il suffit de prendre un seau et un chronomètre. On fait en sorte que la pompe déverse

l'eau dans un seau de volume connu, et on enregistre le temps nécessaire pour remplir le seau. Le débit est ensuite calculé en divisant le volume du seau par le temps nécessaire à le remplir. Pour que cette méthode soit précise, il faudrait que le temps de remplissage du seau soit au minimum de 100 secondes. Si nécessaire, il faut utiliser un conteneur d'un plus grand volume, par ex. un fût à pétrole.



Fig.23 : seau et chronomètre pour mesure le débit

- **Débitmètres** : lorsqu'un équipement plus sophistiqué est disponible, les débits peuvent être mesurés par des débitmètres, qui sont de divers types. À droite, vous voyez le débitmètre qui fait partie du kit standard, pour les essais de pompage. Il utilise des pistons à ressort qui sont défléchis par le flux d'eau, et le débit est lu sur l'échelle graduée. Il est important de vérifier le débit en utilisant une autre méthode, d'utiliser correctement la jauge et de maintenir le matériel en bon état.
- **Compteurs d'eau** : certains débitmètres enregistrent le volume d'eau cumulé qui passe par le compteur, donc il est nécessaire de faire des relevés à des heures précises et de calculer le débit, après avoir vérifié les unités que le compteur utilise. Pour être précis, les débitmètres devraient être installés conformément aux instructions du fabricant, en respectant la longueur du tuyau droit, horizontal, à mettre avant et après le compteur.



Fig.24 : Compteurs d'eau

V.15. Autre équipement disponible

- **pompe motorisée** : en général, une pompe électrique immergée. Vérifiez si une source d'électricité adéquate est disponible ; de nombreuses pompes immergées nécessitent un courant triphasé, donc le courant ordinaire du secteur ne convient pas toujours.
- **Générateur** : nécessaire si une pompe motorisée est utilisée à un endroit retiré, ou si l'alimentation électrique sur place est inadaptée ou non fiable. Assurez-vous que la quantité de carburant disponible est suffisante pour la durée prévue de l'essai.
- **Colonne de refoulement** : pour faire remonter l'eau de la pompe immergée à la surface du forage ; elle peut être constituée d'un tuyau souple ou de plusieurs tuyaux rigides raccordés.
- **Vannes à réglage manuel** : installées entre la colonne de refoulement et les conduites d'évacuation, pour réguler le débit de pompage si la pompe est utilisée à une vitesse fixe.
- **Conduites d'évacuation** : pour transporter l'eau assez loin du forage et éviter qu'elle ne retourne dans le circuit (c'est-à-dire pénètre à nouveau dans le forage ou s'infiltrer rapidement dans le sol et influence le niveau de la nappe près du forage testé).
- **Matériel pour surveiller la qualité de l'eau** : voir le paragraphe ci-dessous sur la qualité de l'eau.

V.16. Conclusion

Les méthodes de essai de pompage elle plusieurs mais toujours la différence dans chaque méthode ci le temps. généralement dans le chantier de forage en fait ça pour extraction le débit d'exploitation et l'autre essai pour savoir autre caractéristique de aquifère.



CHAPITRE VI
HYDROCHIMIE

VI.1.Introduction

L'hydrochimie est la science qui étudie les processus chimiques affectant la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Elle est essentiellement basée sur la chimie mais aussi de la biologie et de la géologie. L'hydrochimie inclut l'ensemble des techniques et protocoles d'échantillonnage des eaux, la détermination des fonds géochimiques naturels d'un milieu, l'étude de la pollution des milieux aquatiques.

Elle permet de définir la « qualité d'une eau ».

VI.2.L'eau souterraine

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. En tant que ressource naturelle vitale et plus ou moins renouvelable et parfois transfrontalières, ces eaux posent des questions juridiques particulières

VI.3.Echantillonnage :

Un protocole d'échantillonnage bien conçu comporte une description écrite des procédures de prélèvement et d'analyse utilisées pour obtenir des données représentatives.

VI.4.Paramètre physico-chimiques

VI.4.1.Physique :

Les paramètres à analyser sont choisis en fonction de l'objectif recherché.

➤ La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers (voir normes). Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

➤ **Conductivité**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats doivent donc être présentés pour une conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain font généralement la conversion automatiquement.



Fig.25 : appareil de conductivimètre

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (χ à 25°C) :

Tab.13 : conductivité et les caractéristiques de l'eau

$\chi = 0.005 \mu\text{S/cm}$	eau déminéralisée
$10 < \chi < 80 \mu\text{S/cm}$	eau de pluie
$30 < \chi < 100 \mu\text{S/cm}$	eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < \chi < 500 \mu\text{S/cm}$	eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (karst)
$500 < \chi < 1000 \mu\text{S/cm}$	eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$\chi > 30000 \mu\text{S/cm}$	eau de mer

➤ **pH potentiel Hydrogène**

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce

paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau:



Fig.26 : appareil WTW 720 de pH température

Tab.14 : les normes de potentiel Hydrogène dans l'eau

Ph < 5	- acidité forte - présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	eaux souterraines
pH > 8	alcalinité, évaporation intense

VI.4.2 Chimique :

➤ **Ions majeurs**

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 7 ions, appelés couramment les majeurs.

On distingue :

Les cations: Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Sodium (Na^+) et Potassium (K^+)

Les anions: Chlorure (Cl^-), Sulfate (SO_4^{2-}), bicarbonate (HCO_3^-).

1- Calcium et magnésium

Le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux.

2- Sodium et potassium

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion Na^{2+} , par le processus d'échange de bases.

3- Le potassium (K^+)

Est assez abondants sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles.



Fig.27 : appareil de flamme photomètre 410 pour mesure les cations

4- Sulfate

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées.

Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer: $1 < c < 20 \text{ mg/l}$), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimique et de lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans des eaux naturelles "non polluées" invoque la présence de gypse ou de pyrite.

5- Chlorures

L'ion Cl^- est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (où le Cl^- est très présent), ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles (voir chapitre les eaux souterraines). Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

6- Alcalinité

L'alcalinité correspond à l'ensemble des anions d'acides faibles susceptibles d'agir avec H^+ . Dans le pratique et pour des systèmes dominés par les relations des carbonates dont le pH varie de 7 à 9, l'alcalinité peut être assimilée aux bicarbonates HCO_3^- .

C'est un paramètre important, car il joue un rôle prépondérant sur l'effet tampon de l'eau. Il détermine la manière dont le pH va réagir à l'ajout d'acides ou de bases faibles dans l'eau, notamment lors des procédés de traitement (floculation et désinfection).



Fig.28 : appareil DR 2000 pour mesure les anions

VI.5.Mesures in situ :

Les mesures effectuées sur le terrain concernent les paramètres physiques que sont la température ($T^{\circ}\text{C}$), le potentiel d'hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE).

VI.6. Analyses au Laboratoire :

Plusieurs méthodes analytiques ont été utilisées. Les méthodes de dosage colorimétrique ont permis de déterminer les nitrates (NO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}), le fer total (Fe), le potassium (K^+), le manganèse (Mn^{2+}), l'Aluminium (Al^{3+}), les phosphates (PO_4^{3-}), les silices (SiO_2), à partir spectrophotomètre DR 2400 (précision $\pm 1\text{nm}$). La méthode volumétrique à l'EDTA a servi à doser le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et déterminer la dureté totale de l'eau, à l'aide du triturateur digital. Elle a servi également à doser les chlorures (Cl^-), au nitrate d'argent et les bicarbonates (HCO_3^-) avec l'acide chlorhydrique 0,1 N à partir du triturateur digital. Le sodium (Na^+) a été déterminé par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

VI.7. Qualité des données

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations (eaux souterraines et eaux de surfaces), il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

$$\text{BI} = \frac{\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})}{\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})} \times 100$$

Excellentes lorsque $\text{BI} < 5\%$

Acceptable lorsque $5\% < \text{BI} < 10\%$,

Douteuse lorsque $\text{BI} > 10\%$

VI.7.1 Conversion l'unité de l'élément majeur

Changer l'unité de l'élément majeur à partir de (mg/l) à (meq/l).

[X] : concentration d'éléments majeurs

ME : Masse molaire atomique

e : symbole atomique

$$\frac{[X]}{\frac{ME}{e}} = y \text{ (meq/l)}$$

VI.8. Le faciès chimique :

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- 1- le diagramme de Piper,
- 2- le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- 3- le diagramme de Stiff,
- 4- le diagramme à coordonnées rayonnantes...

VI.9. Le diagramme de Piper

C'est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau. Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts. Les sommets du diagramme ternaire des anions sont le sulfate, le chlorure et les carbonate + l'hydrogénocarbonate.

Les sommets du diagramme ternaire des cations sont le magnésium, le calcium et sodium + potassium. Les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange déterminant le faciès chimique d'une eau.

Les unités de mesures utilisées sont les % de meq/l.

- Ce type de représentation est particulièrement adapté pour étudier l'évolution, dans le temps, du faciès des eaux.

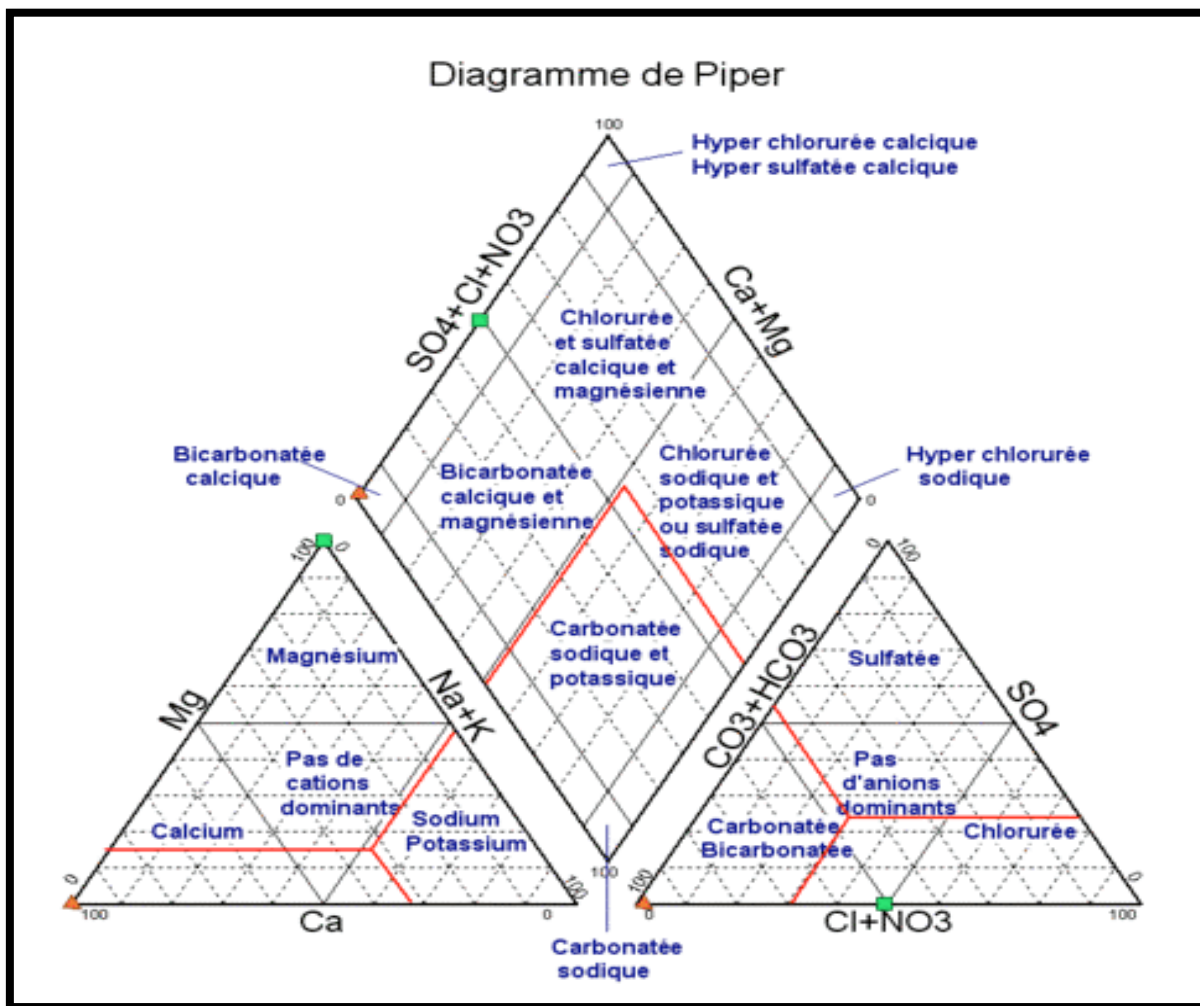


Fig.29 : diagramme de piper

VI.10.CONCLUSION

Cette étude permet de visualiser la situation actuelle des eaux de surfaces et des eaux souterraines, de point de vue hydro chimique et qualité.

L'approche de la qualité chimique des eaux de la région montre que les eaux souterraines sont de bonne qualité par rapport à l'eau de surfaces qui influence une surexploitation qui entraîne des déséquilibres environnementaux majeurs accentués ces dernières années par une évolution industrielle, démographique et par une importante concentration des activités socioéconomiques.



PARTIE
PRATIQUE



CHAPITRE I
REALISATION DE
FORAGE

I.1. Introduction :

Pour obtenir de l'eau dans le sol, nous devons casser le sol c'est ça le forage et pour ce faire le forage avec un bon rendement et une bonne qualité nous devons travailler conformément aux normes qui sont présentées de ce chapitre.

I.2. Les étapes de forage de puits d'eau :

Dans les étapes de forage d'un puits vous devez faire les travaux suivants :

Les travaux initiaux :

- Préparer le chantier de forage, identifier les domaines importants, (restaurant, en droit pour dormir, magasinetc.).
- Choisir la zone élevée pour éviter la chute de quoi que ce soit sur les bassins.
- La pose de l'appareil du forage.
- La construction des bassins de la boue de forage.
- L'essai de matériel de forage avant le début des travaux.

Les travaux de forage renforcement des murs du puits :

- Lier les mass tiges et l'outil de forage.
- Forer l'avant puits, et introduire le tube guide.
- L'opération de forage du puits.
- Le nettoyage des masses tiges.
- L'utilisation de la boue afin de remonter les déchets et refroidir l'outil de forage.
- L'étape de tubage de puits.
- La cimentation.

Les travaux de couche productive de forage :

- Forer la zone du bassin.
- Faire l'étude granulométrique, qui nous permet de :
 1. Savoir la nature du sol de la couche productive.
 2. Faire le bon choix et déterminer la longueur parfaite de la crépine.
 3. Choisir le bon diamètre de gravier additionnel.
 4. Le développement du puits.

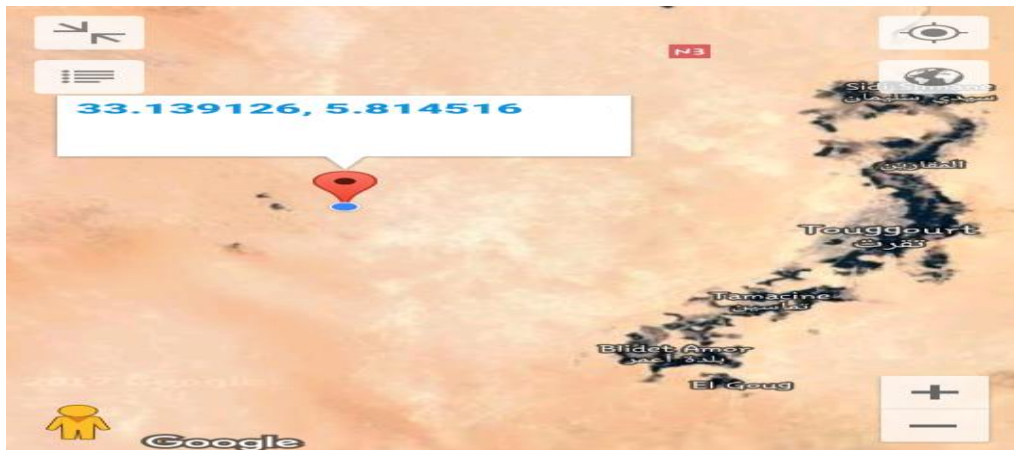


Fig.30 : La zone de forage



Fig.31: installation de chantier de forage



Fig.32 : les bassins de décantation à boue

➤ Les travaux finaux :

Ces travaux se présentes dans les essais de pompage.

- **Le choix du site :**
- Le choix du site de puits se fait par les conditions suivantes :
 1. En générale on choisi le plus haut point dans ce site pour empêcher l'eau de pluie de rentrée dans le puits.
 2. Eviter la région ou bien les zones qu'elles ont un difficile chemin à couvrir, comme ' ' Lacs, Montagnes, dunes de sable ' '.
 3. Il faut bien prendre en compte la distance entre les puits.

I.3.L'étape pratique de la construction du puits :

Cette étape débutera par l'étape préparatoire, et elle consiste à crée la zone du puits et la fixation de l'appareil du forage, ainsi la construire les bassins de la boue. Et après tout sa débutera l'opération par trois (03) étapes :

1. La première étape :

Forée la première partie par l'outil de forage d'un diamètre ($\varnothing = 12''^{1/4}$), jusqu'à une profondeur de (10 m), et élargissement cette mètre avec un outil de diamètre ($\varnothing = 24''$), ensuite on va introduire le tube guide ($\varnothing = 20''$). Et à la fin vienne l'opération de la cimentation de ce tube.

L'analyse du sol jusqu' à (10 m) :

Tab.15 : Résultat de sol de la première étape

Profondeur	Type de sol	Diamètre de l'outil	Diamètre de tubage	Lithologie
[0-2[Sable	$\varnothing = 24''$	$\varnothing = 20''$	
[2-5[Argile			
[5-10]	Sable rouge			



Fig.33 :l'outil de forage 12''^{1/4} et 24''



Fig.34 : tube guide 20''

On applique les formules de calcul le débit injecter de la boue de forage et le volume de laitier de ciment :

➤ **Calcule le débit injecté de la boue :**

Nous avons utilisé l’outil d’un diamètre ($\text{Ø} = 12''^{1/4}$).

Donc :

$$Q = 5(12''^{1/4})^2 = 750.31 \text{ (galon/min)}$$

$$Q = 720(3.785) = 2839.93 \text{ (litre/min)}$$

➤ **Calcule le volume de laitier de ciment :**

Et pour calculer le volume de laitier de ciment prend :

$$K_1 = 1.25 \text{ et } K = 1.05$$

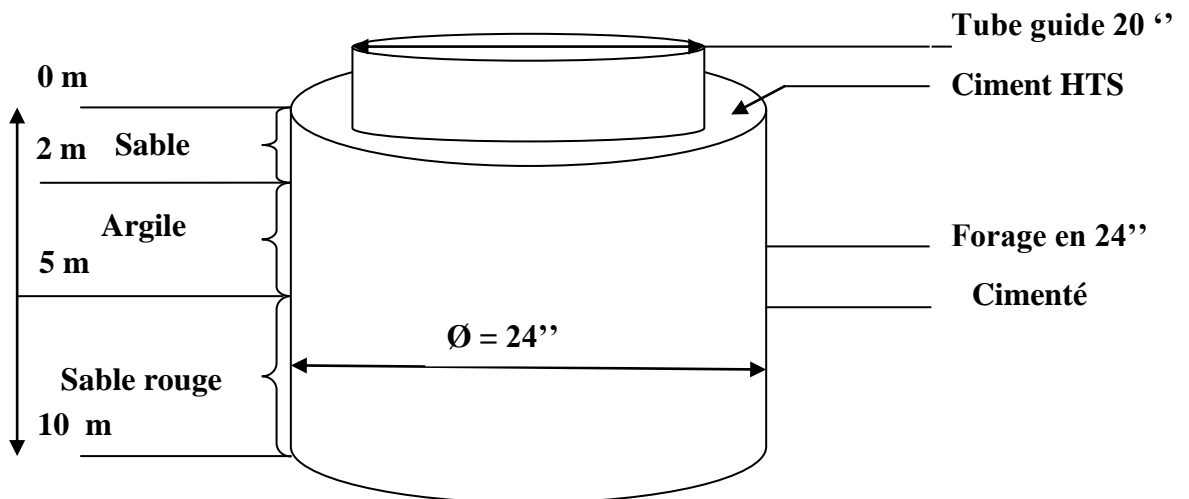


Fig.35: La cimentation de la première partie

D = 0.610 m

d = 0.508 m

H = 10 m

h = 1 m

Donc :

$$V_c = \frac{\pi}{4} \times K_1 [(KD^2 - d^2) H + d^2 h]$$

$$V_c = 1.104 \text{ m}^3$$

➤ **Calcule quantité de ciment :**

$$P_c = V_c \times M_v \text{ (ton)}$$

$$V_c = 1.104 \text{ m}^3$$

$$M_v = 1.176 \text{ ton/m}^3$$

$$P_c = 1.298 \text{ ton}$$

➤ **Calcule le volume d'eau :**

$$100 \text{ kg} \rightarrow 40 \text{ litre}$$

$$P_c \rightarrow V_e$$

$$V_e = 0.519 \text{ m}^3$$



Fig.36: Préparation le lait de ciment

2. La deuxième étape :





Dans cette étape du forage (10 m à 86 m)en continue de forée avec un outil de forage d'un diamètre ($\varnothing = 12''^{1/4}$) jusqu'à (86m), ensuite vienne l'opération de nivellement et l'élargissement des parois de puits avec un outil de forage d'un diamètre de ($\varnothing = 17''^{1/2}$) jusqu'à (52 m), et utilisé l'aléuseur de diamètre ($\varnothing = 19''$) à profondeur (10 m à 52 m).Et cimenté tubage API ($\varnothing = 13''^{3/8}$) (0 à 52m).



Fig.37:Outil de 19''

L'analyse du sol à partir de 10m jusqu'à 86 m du forage donne :

Tab. 16 : Résultat de deuxième étape

Profondeur	Type de sol	Diamètre de l'outil	Diamètre de tubage	Lithologie
[10-44[Sableuse Rougeâtre	Ø = 19''	Ø = 13'' ^{3/8}	
[44-52[Gravie			
[52-82[Gris			
[82-86]	Argile			

➤ **Calcule le débit injecté de la boue :**

Nous avons utilisé l'outil d'un diamètre (Ø = 12''^{1/4}).

Donc :

$$Q = 5(12''^{1/4})^2 = 720 \text{ (galon/min)}$$

$$Q = 720(3.785) = 2725.2 \text{ (litre/min)}$$

$$Q = 5(17''^{1/2})^2 = 1531.25 \text{ (galon/min)}$$

$$Q = 720(3.785) = 5795.98 \text{ (litre/min)}$$

$$Q = 5(19)''^2 = 1805 \text{ (galon/min)}$$

$$Q = 720(3.785) = 6831.925 \text{ (litre/min)}$$

- **Calcule le volume de laitier de ciment :**

$$D = 0.483 \text{ m}$$

$$d = 0.330 \text{ m}$$

$$H = 52 \text{ m}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

Donc :

$$V_c = 5.08 \text{ m}^3$$

- **Calcule quantité de ciment :**

$$P_c = V_c \times M_v \text{ (ton)}$$

$$V_c = 1.104 \text{ m}^3$$

$$M_v = 1.176 \text{ ton/m}^3$$

$$P_c = 5.974 \text{ ton}$$

- **Calcule le volume d'eau :**

$$100 \text{ kg} \rightarrow 40 \text{ litre}$$

$$P_c \rightarrow V_e$$

$$V_e = 2.839 \text{ m}^3$$



Fig.38 : Cimentation le deuxième parti

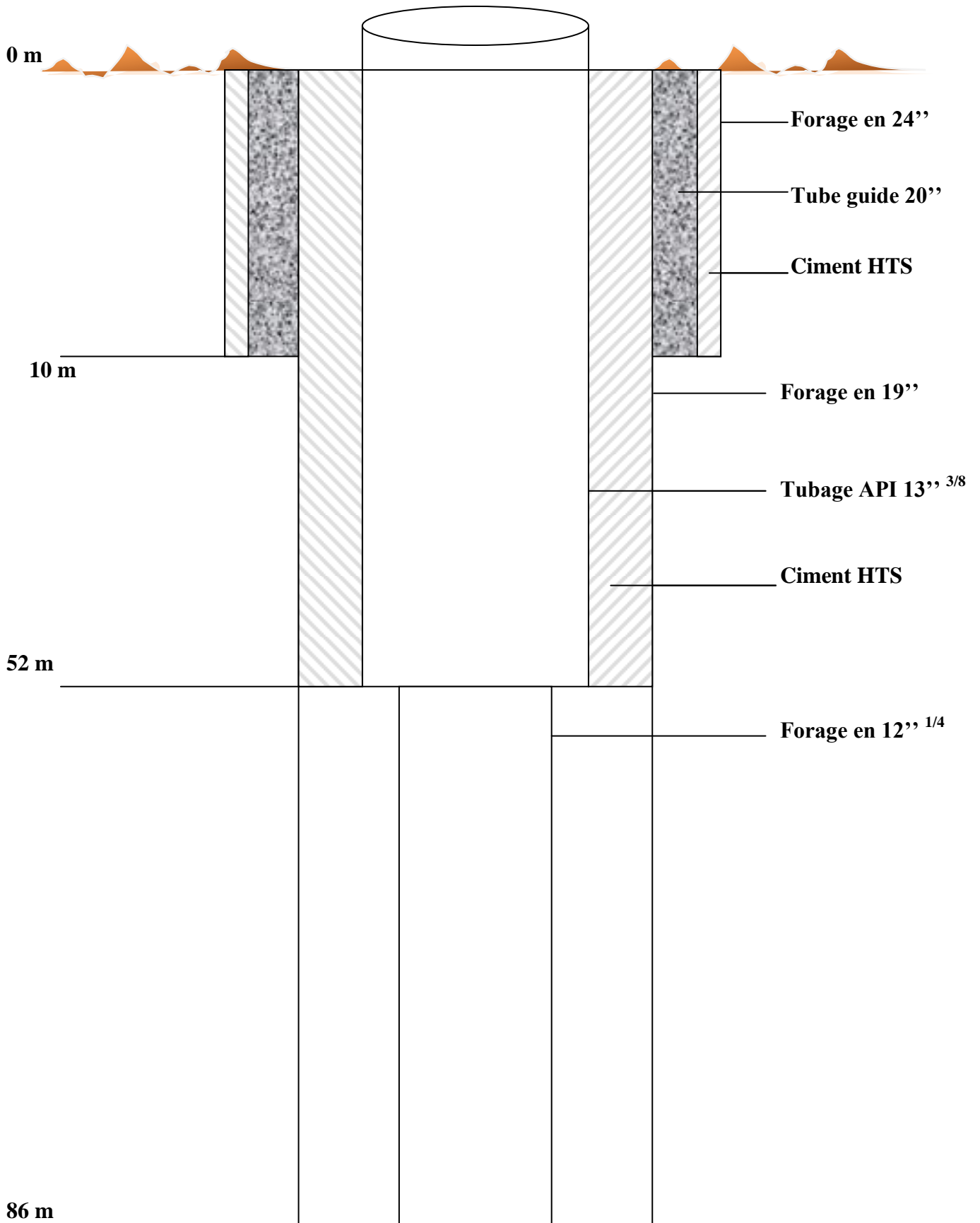


Fig.39 : Cimentation le deuxième parti

3. La troisième étape :

Dans cette étape posée la crépine type Johnson inox de diamètre ($\text{Ø} = 8''^{5/8}$), utilisé quatre (04) crépine et deux (02) tube plein inox de même diamètre, de profondeur (50 m jusqu'à 86 m). De dernier tube plein montre d'un centreur pour éviter glissement la crépine avec les parois.



Fig.40: la crépine Johnson

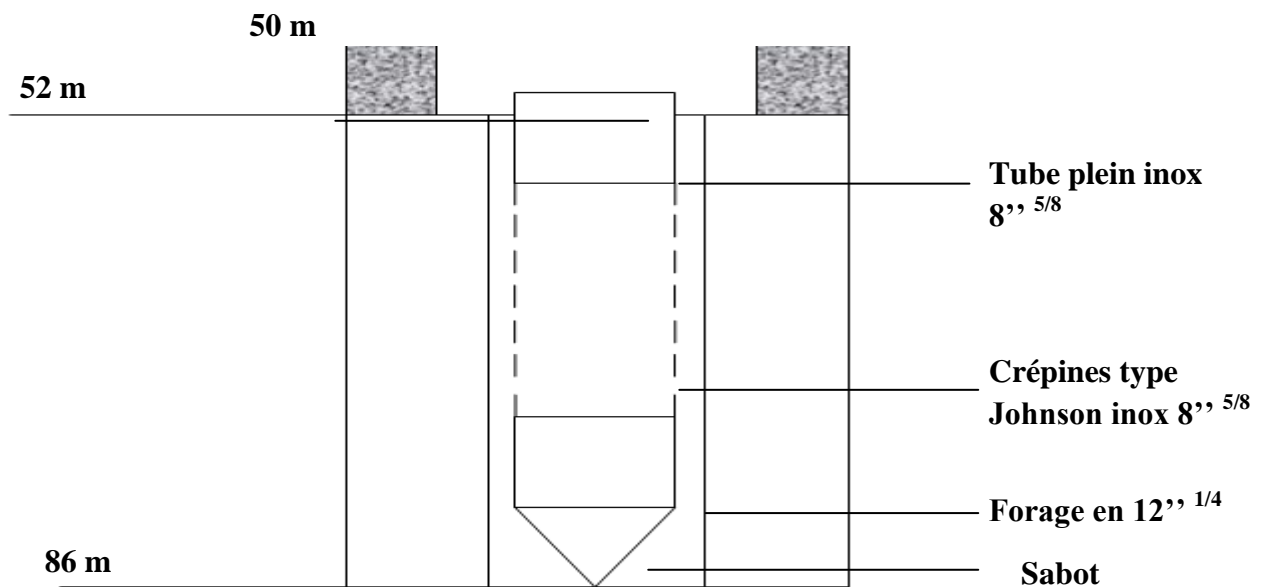


Fig.41 : La pose de crépine



Fig.42 : centreur de crépine

I.4. échantillon de formation géologie :

Chaque mètre vérifie les déblais



Fig.43 : échantillon de forage

Tab. 17 : échantillon de formation géologie de terrain

Profondeur	Chronostratigraphie	Lithologie
0-2	Sable	
2-5	Argile	
5-44	Sableuse rougeâtre	
44-52	Gravie	
52-82	Gris	
82-86	Argile	

I.5. Lavage de puits :

Cette méthode utilise une grande quantité de l'eau claire pour dégager la boue dans le forage avant d'ajouter le massif filtrant.



Fig.44 : lavage de puits ajouté à l'eau claire

I.6. Massif filtrant :

Le massif filtrant est une gravie additionnelle pour protéger la crépine, et on ajoute le massif filtrant dans l'espace annulaire entre les parois de diamètre ($\varnothing = 12''^{1/4}$) et de la crépine Johnson de diamètre ($\varnothing = 8''^{5/8}$).



Fig.45 : Massif filtrant (gravie additionnel)

I.7. Développement par émulseur (Air lift)

Cette opération injectant de l'air, amené par un tube, à la base d'une colonne dans l'eau d'un forage, l'émulsion ainsi créée (mélange eau + air) diminue de densité.

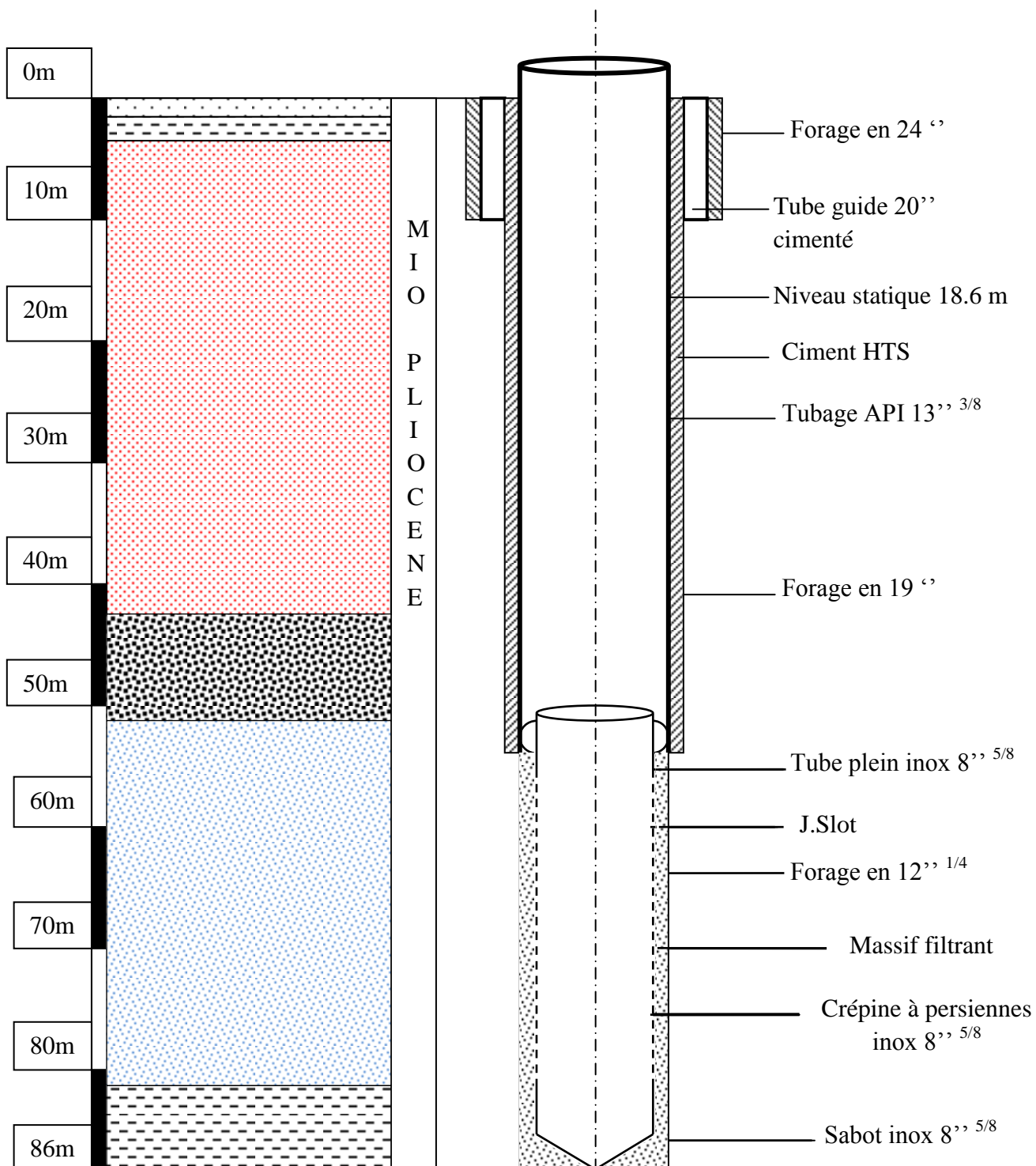
Sous l'influence de la pression atmosphérique agissant sur l'eau située à l'extérieur de tube d'eau, le niveau de l'eau émulsionnée s'élève et sous l'effet de la forte pression du compresseur, l'élévation peut-être portée jusqu'en surface (sortie de forage).

Utilisé pression également 12 bar.



Fig.46 : développement air lite

FICHE TRCHNIQUE		
Cordonnées	Nappe captée	Date des travaux
X : 33.139126	Mio pliocène	Forage N° : 19
Y : 5.814516		01/03/2017
CLIENT : DSA	Enterprise : forehmyd	26/04/2017



I.8.Rapport de fin du sondage :

En fin du forage nous avons faire un rapport de fin sondage :

➤ **Phase travaux de surface e forage :**

1. Déménagement, installation chantier et forage en 24'' de 0 à 10 m
2. Pose et cimentation d'un tube guide 20'' sur 10m.
3. Attente de prise ciment.
4. Forage de reconnaissance en 12''^¼ de 10 à 86 m
5. Élargissement et alésage en 19'' de 10 à 52 m
6. Pose tubage 13''^{3/8} API, et cimentation de 0 à 52 m.
7. Fourniture et pose crépine Johnson et tunes pleins inox 8''^{5/8}

➤ **Phase équipement :**

1. De 0,00 à 10 m : Tube guide 20''.
2. De 0,00 à 52 m : Tubage API 13''^{3/8}.
3. De 52 à 86 m : crépine type Johnson 8''^{5/8}.

➤ **Phase développement :**

1. Lavage du puits à l'eau claire
2. Nettoyage et développement du puits au compresseur.
3. Pose la pompe à la cote d'aspiration

➤ **Le primaire résultant hydrodynamique :**

- Niveau statique → 18,68 m
- Niveau dynamique → 37,75 m
- Débit → 35 l/s
- Rabattement → 26 m

➤ **Eau claire :**

Installation d'un pompe immergée fournée par le client.

Remarque : dans le projet il ya un 44 forage ce pour ça forehynd divisé les travaux (forage et pompage) après le forage en attente autre société pour fait le pompage.

I.9.Conclusion :

Le forage rotary est un domaine très difficile .li est le champ de travail dur. Donne cette expérience avec forehynd nous savions la définition du mot forage et le chantier par ce que l'étude ne donne pas la totale définition .le travail donne le chantier n'est pas soumis aux lois de l'étude seulement expérience contrôler cette domaine.



CHAPITRE II
QUALITE L'EAU

II.1.Introduction

Après la fin du forage du puits et la fin de toutes les étapes. Elle a été prise d'un échantillon d'eau pour l'analyse et la connaissance de la qualité de l'eau et d'identifier leurs caractéristiques.

II.2.Caractéristique physique

Tab. 18 : caractéristique physique de l'eau

Paramètre	Mesures
Température C°	26
Conductivité électrique en 25 (mS/cm)	4 ,93
pH	8,14

II.3.Caractéristique chimique

Tab. 19 : caractéristique chimique de l'eau

Élément	Mesures (mg/l)
Ca ⁺⁺	285
Mg ⁺⁺	194,6
Na ⁺	550
K ⁺	21, 3
Cl ⁻	530
(SO ₄) ⁻²	1838
(HCO ₃) ⁻	176,90
(NO ₃) ⁻	5,3

II.4.Fiche technique de laboratoire d’Ouargla

MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU
Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques
 Direction Régionale Sud / OUARGLA
 Laboratoire Chimie des Eaux & Sols
 B.P. 140 Ouargla. / Tél. : 71 14 87 88 / Fax : 71 11 29

RÉSULTATS D'ANALYSES
 Demandeur : Secteur Touggourt (7/17).
 Touggourt 2017

Désignation	El Annet terre D34TerrF13
Date (prélev)	--/--
N° LABO	39/17
Eléments	mg/l
Ca ⁺⁺	285
Mg ⁺⁺	194,6
Na ⁺	550
K ⁺	21,3
Cl ⁻	530
(SO ₄) ⁻²	1838
(CO ₃) ⁻²	00
(HCO ₃) ⁻	176,90
(NO ₃) ⁻	5,3
T.H (°F)	151,3
Résidu Sec à 105°C (mg/l)	4720
Conductivité électrique 25°C (mS/cm)	4,93
pH	8,14
Turbidité EB (FTU)	01
Turbidité ED (FTU)	00
Observation	--

Fig.47: l’analyse laboratoire chimie d’échantillon d’eau du forage

II.5. la balance ionique

- Calcule la balans ionique :

$$BI = \frac{\sum(cations) - \sum(anions)}{\sum(cations) + \sum(anions)} \times 100$$

- Conversion l’unité de l’élément majeur

Changer l’unité de l’élément majeur à partir de (mg/l) à (meq/l).

Tab. 20: unité de l'élément majeur en (meq/l)

Élément	Mg/l	ME	e	Meq/l
Ca ⁺⁺	285	40	2	14,25
Mg ⁺⁺	194,6	24	2	16,21
Na ⁺	550	23	1	23,91
K ⁺	21,3	39	1	0,54
Cl ⁻	530	35,5	1	14,92
(SO ₄) ⁻²	1838	96	2	38,2
(HCO ₃) ⁻	176,90	61	1	2,9
(NO ₃) ⁻	5,3	259	1	0,02

BI = 1,58%

Excellentes lorsque BI < 5 %

II.6. Le diagramme de piper

Utilisée programme de diagramme pour le calcul et dessiner le diagramme de piper.

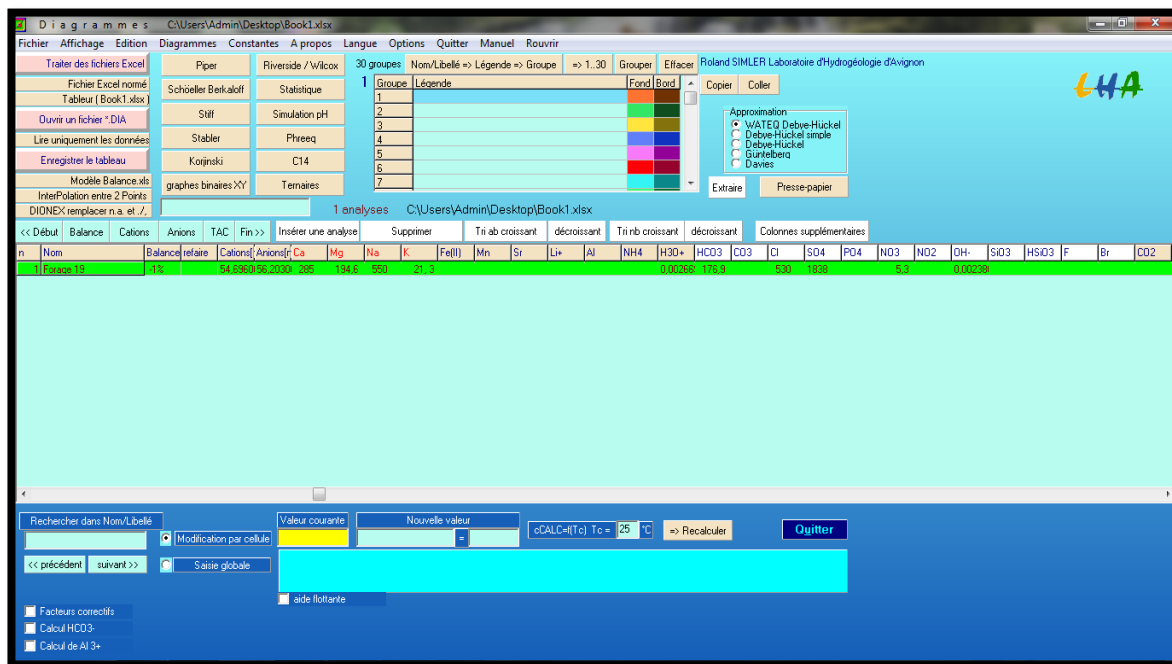


Fig.48 : le programme de diagramme

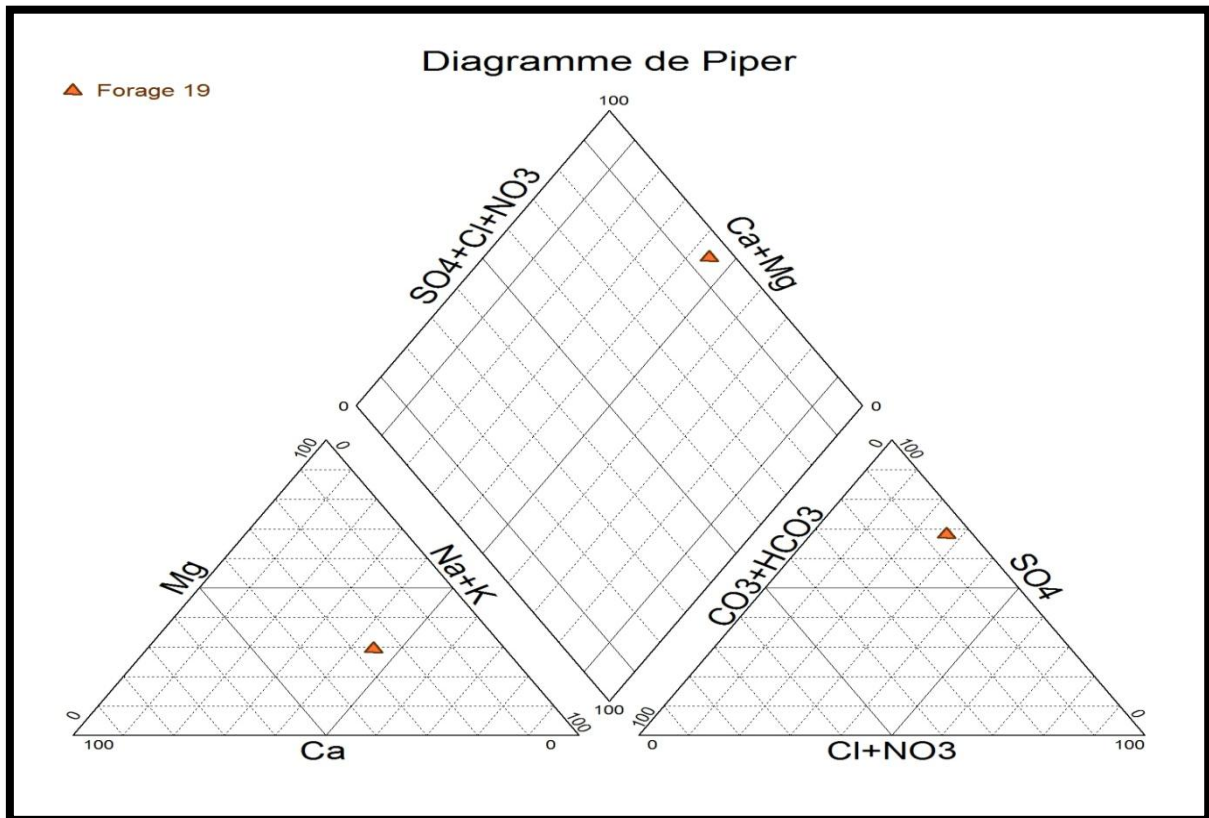


Fig.49 : diagramme de piper

II.7.Faciès chimique :

A travers ces représentations, l'eau de la 2^{ème} nappe (Complexe terminal) Mio-Pliocène. Cette eau présente le faciès sulfatée magnésique

II.8.conclusion

La qualité des eaux de zone de al annate ne pas meilleur nous elle est acceptable pour l'agriculteur de zone de Touggourt (les palmiers) par ce que les paramètres physique est excellente pour cette agriculture

Conclusion générale

La campagne de forage de reconnaissance hydrogéologique entreprise dans une première phase a permis de montrer que l'aquifère mi-pliocène était présent dans la vallée et de déterminer le site le plus favorable afin de le transformer en forage d'exploitations dans 2^{ème} phase

L'emploi de la formation à l'air en gros diamètre (12 "1/4) a permis une plus grande rapidité ou moindre coût et surtout un développement intense des fissures remplies des sables grossiers et d'argile qui a nécessité un équipement avec crépine à spires enroulées et massif de gravier dans la partie inférieure du forage

Les travaux dans le domaine du forage nécessitent une combinaison de travaux universitaires et sur le terrain et étudier c'est ce qui nous donne un autre regard sur le forage. Il est non seulement le travail, mais le travail vous invite à extraire toutes les informations dans sur le terrain, la géophysique la géologie, le forage et hydrogéologique. Il a fallu la diffusion de la compilation des résultats de plusieurs personnes. Ce n'est pas parce que les réponses étaient trop nombreuses, mais parce que tout le monde veut atteindre les meilleurs résultats pour le rendement agricole contribue au développement de la région.



BIBLIOGRAPHIE

Source	Nom et prénom	titre	année	page
Livre	Richard Lagabrielle	Diagraphies et géophysique de forage	1996	25-26
Livre	Robert Lauga	Pratique du forage d'eau	1990	
Mémoire	Redouane Bendalali hassine et Belkacem hanniche	Suivi de forage d'eau et transmesivité	2006/2007	30-39 52-60
Livre	Albert Mabillot	Guide pratique, le forage d'eau	1995	28-29
Livre	Dr Mehdi Metaiche Maitre de Conférences- Université de Bouira.	forage technique et procédés	2013	42-46 48-49
Site Internet	www.ifpenergiesnouvelles.fr/espace-decouverte/les-cles-pourcomprendre/lessources-d-energie/le-petrole .			
Journées d'étude sur : L'eau souterrain et ces problèmes techniques actuels, Communication de la direction régional sud/ANRH/ Ouargla				
Journées d'étude sur : l'analyse d'eau dans laboratoire communication de l'agence des ressources hydraulique,				
Département de transport et production.				